نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 1992-1978

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 1978-1992

تعیین عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندق پنجه‌ای در حوزه آبخیز آق امام(2)

مریم محمد ابراهیمی[1]- محمدرضا جوادی[2*]- مهدی وفاخواه[3]

تاریخ دریافت: 1393/12/23
تاریخ پذیرش: 1395/06/21

چکیده

فرسایش خندقی از جمله انواع پیشرفته فرسایش آبی است که منجر به هدر رفت منابع آب و خاک در نقاط تحت تأثیر می‌شود. این نوع فرسایش به دلیل تولید رسوب و زیان‌های فراوانی که در نتیجه تخریب اراضی، راه‌ها و سازه‌های عمرانی برجای می‌گذارد، اهمیت ویژه‌ای دارد. حوزه آبخیز آق امام(2) با مساحت حدود 2595 هکتار در شرق استان گلستان واقع است که از نظر فرسایش خندقی دارای معظلات و مشکلات قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. در این تحقیق، تعداد 9 خندق پنجه‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه، شناسایی شدند و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مؤثر خاک، انواع لیتولوژی، انواع کاربری اراضی، طبقات مختلف شیب و ارتفاعی در ایجاد آنها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که متغیر درصد سیلت، درصد رس، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی، آهک، ظرفیت تبادل کاتیونی، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبادلی و نوع لیتولوژی (سازند لسی) از مهمترین عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش خندق پنجه‌ای در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. همچنین به منظور جلوگیری از توسعه بیشتر خندق‌ها می‌توان به انجام اقداماتی نظیر افزایش پوشش گیاهی در مناطق بالادست، و انحراف رواناب سطحی ورودی به خندق به مناطق خارج از محدوده خندق‌ها و همچنین تثبیت خاک دیواره‌های کناری و بستر خندق اشاره نمود.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، فرسایش خندقی، کاربری اراضی، لیتولوژی

مقدمه

فرسایش خاک به وسیله آب از جمله مهمترین فرآیندهای تخریب سرزمین به ویژه در مناطق نیمه خشک به شمار می‌آید. از بین انواع مختلف فرسایش آبی، فرسایش خندقی از مهمترین رخدادهای مؤثر در نابودی خاک، تغییر سیمای زمین، منابع آب و پسرفت اراضی است که از پیامدهای آن پر شدن مخازن سدها، کاهش ظرفیت انتقال آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و تخریب اراضی کشاورزی پایین دست آنها می‌باشد (28).

طبق تعریف پوزن (21)، خندق یک آبراهه با کناره‌های دارای شیب تند و یک پیشانی فرسایشی پر شیب و فعال می‌باشد که با فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب (بطور معمول در طی یا پس از ریزش باران‌های شدید) ایجاد می‌شود. بر اساس تعریف دیگر، خندق‌ها آبراهه‌های عمیقی هستند که توسط شخم عادی از بین نمی‌روند (12). بر اساس تعریف دیگر از آنجایی‌که شخم عادی با تغییر زمان و مکان تغییر می‌کند آبراهه‌های با سطح مقطع بزرگتر از 932 سانتی‌متر مربع را خندق می‌نامند (30). اثرات اقتصادی خندق‌ها بر اراضی زراعی بسیار بیشتر از مراتع است. زیرا ایجاد خندق در مراتع، چرای دام و تولید دامی را متوقف نمی‌سازد ولی در اراضی زراعی به دلیل قطعه قطعه شدن اراضی، تولید زراعی متوقف می‌شود. خسارات مستقیم و غیر مستقیم فرسایش خندقی بسیار بالا است. بطوری‌که مجموع خسارات مستقیم و غیر مستقیم ناشی از آن بعلاوه ارزش خاک تلف شده در اراضی جهان بالغ بر 2000 میلیارد دلار برآورد شده است (31).

به طور کلی پیدایش خندق‌ها دارای فرآیند بسیار پیچیده‌ای است که اولین مرحله آن ایجاد فرورفتگی در سطح توپوگرافی دشت است. این فرورفتگی ممکن است طبیعی بوده و یا در نتیجه از بین رفتن پوشش گیاهی آب در داخل گودال‌ها، متمرکز شده و در نتیجه پدیده انحلال و ایجاد راهروی زیرزمینی و گسترش آن، آبراهه‌ای بوجود می‌آید که در نتیجه ریزش سقف آن، خندق ایجاد می‌گردد (2).

عوامل مختلفی در ایجاد و گسترش خندق‌ها و تولید رسوب ناشی از آن در حوزه‌های آبخیز مانند شیب، میزان و توزیع شدت بارندگی، عملیات عمرانی، تخریب پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری نامناسب، حساسیت مواد مادری به فرسایش و سیلاب

1 و 2- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری و استادیار گروه منابع طبیعی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور
(*- نویسنده مسئول: Email:Javadi.desert@gmail.com)
3- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس نور
DOI: 10.22067/jsw.v30i6.42860

نقش دارند (28).

با توجه به اهمیت فرسایش خندقی و چگونگی ایجاد و گسترش و کنترل آن نیاز به مطالعات بیشتر و جامع‌تری در این رابطه احساس می‌گردد. هر چند که مطالعات چندی در این ارتباط صورت گرفته است که برخی از آنها به شرح زیر می‌باشند:

رینکز و همکاران (23) نشان دادند که فرسایش خندقی بیشتر در خاک‌هایی مشاهده می‌شود که درصد سدیم تبادلی و نسبت جذب سدیم بالایی دارند و بیان نمودند که در خندق‌ها این دو عامل می‌توانند شاخص‌های مهمی در نشان دادن میزان پخشیدگی خاک باشند.

بوما و ایمسون (7) عواملی چون هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، درصد کربنات کلسیم و نوع کانی رسی در نمونه‌های مارن سفید قهوه‌ای و خاکستری منطقه پتر در اسپانیا را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که عواملی چون هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم، ارتباط زیادی با فرسایش پذیری بدلندها دارند.

قدوسی و داوودی راد (13) با بررسی اثرات خصوصیات خاک در توسعه فرسایش خندقی در حوزه آبخیز زنجان رود به این نتیجه رسیدند که شکل‌گیری و ایجاد شبکه خندق‌ها تابعی از خصوصیات خاک از جمله بافت خاک است و خطر خندقی شدن در خاک‌های با بافت سیلتی و رسی به مراتب بیش تر از خطر رخداد فرسایش در خاک‌های با بافت سبک است.

سلیمان پور و همکاران (30) با بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر گسترش طولی خندق‌ها در استان فارس به این نتیجه رسیدند که عواملی مانند شیب، شوری، اسیدیته و پوشش گیاهی رابطه‌ای معنی‌دار با پیشروی طولی خندق دارند.

بیاتی خطیبی و همکاران (5) به بررسی آستانه‌های توپوگرافیکی و تحلیل نقش نوع سازندهای سطحی در توسعه خندق‌ها در دامنه‌های کوهستان‌های نواحی نیمه خشک حوضه شورچای پرداختند و بیان نمودند که شیب و نوع سازندهای سطحی دامنه‌ها، نقش مهمی در فراهم نمودن زمینه لازم برای تشکیل خندق‌ها ایفا نموده است.

خوجه و همکاران (18) به بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و گسترش فرسایش خندقی در حوزه آبخیز تمرقره قوزی پرداختند و بیان نمودند که نقش مؤثر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بویژه میزان سیلت، املاح محلول و درجه اشباع خاک در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در سازند لسی می‌باشد.

خزایی و همکاران (17) به بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر توسعه فرسایش خندقی در حوزه آبخیز مارون پرداختند و بیان نمودند که شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، پوشش گیاهی و بارندگی در ایجاد فرسایش خندقی مؤثر بوده است.

یثربی و همکاران (34) در مطالعه خود به تعیین نقش عوامل توپوگرافی در آغاز فرسایش خندقی در دره شهر استان ایلام پرداختند و بیان نمودند که عوامل خاکی مؤثر بر آستانه خندق‌ها عبارت از سدیم، سیلت و ماسه می‌باشند که با سطح تأمین کننده رواناب دارای ارتباط معکوسی هستند.

زنجانی جم و همکاران (35) به بررسی خصوصیات شکل- اقلیم شناسی خندق‌ها به منظور طبقه‌بندی مناطق خندقی شده در استان زنجان پرداختند و نتیجه گرفتند که عامل فرسایش‌پذیری خاک، تخریب پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی از مهمترین عوامل مؤثر در ایجاد خندق‌ها در منطقه بوده است.

هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر عوامل مؤثر خاکی و برخی عوامل غیر خاکی در ایجاد فرسایش خندق پنجه‌ای در حوزه آبخیز آق امام (1) بوده است.

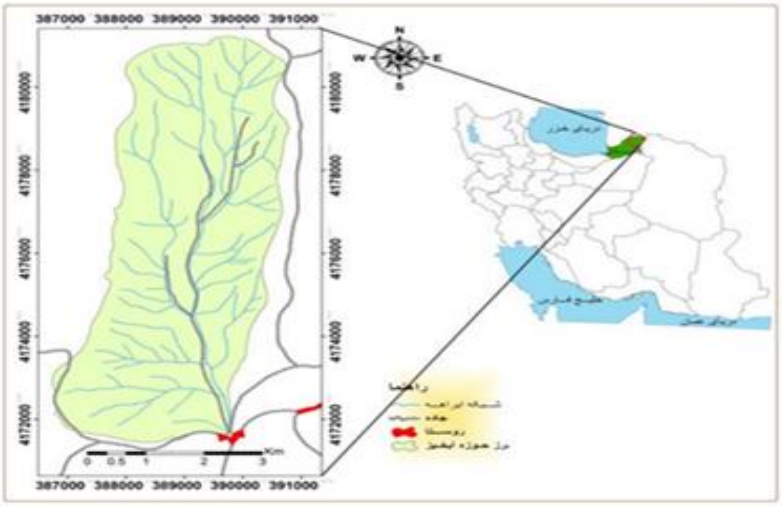
مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز آق امام (2) با مساحت حدود 2595 هکتار در محدوده ″4252 ′55 °55 تا ″43 ′45 °55 طول شرقی و ″4101 °37 تا ″4619 °37 عرض شمالی در شرق استان گلستان واقع است. روستای عرب قره حاجی بعنوان مهمترین منطقه مسکونی در این منطقه، مطرح می‌باشد که در خروجی حوضه واقع شده است (شکل 1). ارتفاع حداقل و حداکثر این منطقه برابر با 380 و 880 متر می‌باشد. شیب متوسط آن حدود 13/82 درصد است. از نظر خصوصیات لیتولوژی، منطقه مورد مطالعه دارای سازند سنگانه (236 هکتار)، سازند لسی (2239 هکتار) و رسوبات آبرفتی عهد حاضر (120 هکتار) می‌باشد. همچنین از نظر کاربری اراضی، سه نوع کاربری شامل؛ اراضی مرتعی (1727 هکتار)، اراضی کشاورزی (870 هکتار) و اراضی لخت و بایر (8 هکتار) را می‌توان در منطقه مشاهده نمود.

روش پژوهش

در تحقیق حاضر ابتدا با بازدید میدانی، حدود اربعه و کل سطح منطقه مورد مطالعه مورد بازبینی صحرایی قرار گرفت و در طی آن تعداد خندق‌های پنجه‌ای موجود در منطقه شناسایی شدند که تعداد آنها 9 عدد بوده است. سپس موقعیت مکانی هر خندق با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی ثبت شد و نقشه پراکنش خندق‌ها در منطقه مورد مطالعه بدست آمد. پس از آن با روی هم گذاری این نقشه با نقشه‌های لیتولوژی، طبقات مختلف شیب و ارتفاعی (فواصل پنجاه متری) منطقه، موقعیت مکانی هر خندق در هر کدام از خصوصیات فوق الذکر مشخص گردید و خصوصیات ذکر شده برای هر یک از خندق‌ها بدست آمد (جدول 1). همچنین با توجه به آنکه بخشی از هدف تحقیق بررسی خصوصیات خاک در محدوده مناطق خندقی و خارج از آن‌ها بوده است برای این منظور می‌بایست در مناطقی واقع در خارج از محدوده مناطق خندقی که در قبل از

خندق‌ها و در اراضی بالادست این خندق‌ها وجود داشته، نمونه‌برداری انجام شود. از این‌رو محل نمونه‌برداری از خاک منطقه خارج از محدوده خندق‌ها نیز در بخشی از منطقه واقع در اراضی بالادست خندق‌ها و نزدیک به آنها (منطقه‌ای که از بسیاری جهات نظیر پوشش گیاهی- نوع سازند- شرایط توپوگرافی و .... شبیه به مناطق محدوده خندقی شده می‌باشد) در نظر گرفته شد.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

Figure 1- Geographica Location of study area in Iran and Golestan Province

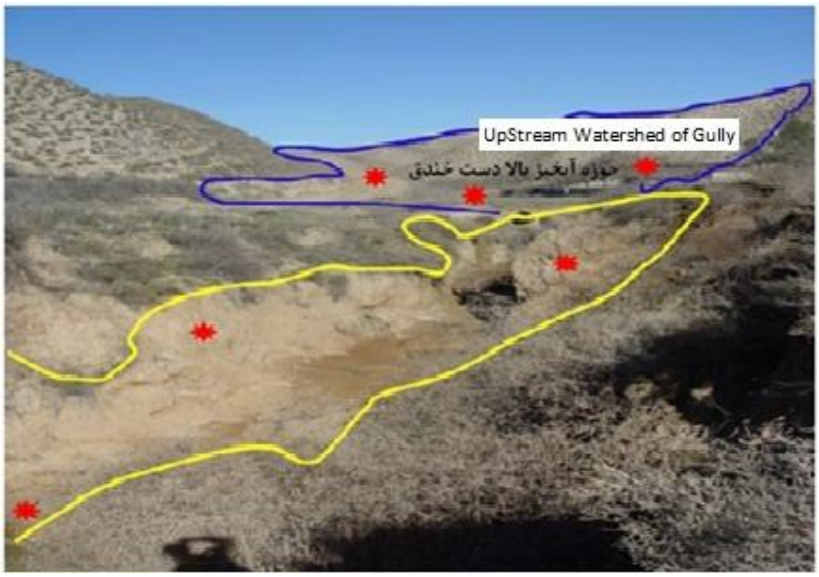
جدول 1- ویژگی‌های خندق‌های پنجه‌ای موجود در حوزه آبخیز آق امام(2)

Table 1- Characteristics of Digitate gullies in Agh Emam(2) Watershed

شماره خندق Number of Gully	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	طبقه شیب (درصد) Slope class (%)	طبقه ارتفاعی Hypsometric class	نوع سازند Formation type	طول Length	عرض متوسط Medium width	عمق متوسط Medium depth	حجم خندق (متر مکعب) Gully dimension (m^3)
1	389509	4171993	5 تا 12	360 تا 400	لسLoess	220	9.3	4	8210.4
2	389400	4172395	12 تا 25	400 تا 450	لسLoess	75	4.4	2	676.9
3	389218	4172459	12 تا 25	400 تا 450	لسLoess	150	4.5	3.8	2346.3
4	388631	4172973	5 تا 12	400 تا 450	لسLoess	75	6.7	4	2015
5	388297	4175042	12 تا 25	500 تا 550	لسLoess	110	5.2	3.4	1994
6	389528	4174203	12 تا 25	400 تا 450	لسLoess	120	6.8	3	2494
7	389231	4175170	5 تا 12	400 تا 450	آبرفت عهد حاضر Q_{t1}	85	5.6	3.8	1823.9
8	388785	4177960	12 تا 25	550 تا 600	لسLoess	65	3.6	3.4	811.4
9	390193	4177757	12 تا 25	550 تا 600	لسLoess	120	3.8	3.3	1566

به منظور اخذ نمونه‌های خاک و تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی خاکشناسی، تعداد 9 نمونه ترکیبی به ترتیب از خاک سطحی (0 تا 25 سانتی‌متری) و خاک زیر سطحی (25 تا 50 سانتی‌متری) از مناطق محدوده خندق (جمعا 18 نمونه خاک) و همچنین تعداد 18 نمونه خاک با همین کیفیت و کمیت از مناطق شاهد (منطقه‌ای نزدیک به محدوده مناطق خندقی و واقع در اراضی بالادست خندق‌ها) اخذ گردیدند.

پس از اخذ نمونه‌های خاک از منطقه، آنها به آزمایشگاه منتقل شدند و خصوصیات درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، درصد رطوبت اشباع، هدایت الکتریکی، اسیدیته، درصد ماده آلی، درصد تبادل کاتیونی، درصد سدیم تبادلی، نسبت جذب سدیم، درصد مواد خنثی شونده برای دو عمق مورد نظر، مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.



شکل 2- نمایی از محل اخذ نمونه خاک از مناطق محدوده یک خندق پنجه ای و خارج از آن
Figure 2- View of soil sampling place on inside and outside the gully restricted area UpStream Watershed of Gully

در ادامه به منظور تجزیه و تحلیل‌های آماری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (در هر یک از دو عمق)، از آزمون مقایسه میانگین‌های دو جامعه آماری و نیز آماره t-Student به منظور معنی‌داری و عدم معنی‌داری متغیرهای مورد بررسی، استفاده شد. همچنین به منظور تجزیه و تحلیل‌های آماری تأثیر عوامل غیرخاکی (طبقات شیب، طبقات ارتفاعی، انواع لیتولوژی و کاربری اراضی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای از روش آماری ناپارامتریک (آزمون کای‌اسکوئر) استفاده به عمل آمد.

نتایج و بحث

بررسی‌های ابتدایی به عمل آمده از طریق بازدید میدانی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که عوامل مختلفی در پیدایش خندق‌های پنجه‌ای در منطقه مورد مطالعه مؤثر است. بدین منظور متغیرهای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، طبقات مختلف شیب، طبقات مختلف ارتفاعی، انواع لیتولوژی، انواع کاربری اراضی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج به شرح زیر بوده است:

الف) نتایج حاصل از بررسی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک سطحی مؤثر در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

همان‌طور که از جدول شماره 2 استنباط می‌شود از بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی، درصد سیلت، درصد رس، درصد رطوبت اشباع، مقدار اسیدیته، ظرفیت تبادلی کاتیونی، نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبادلی در ایجاد فرسایش خندقی پنجه‌ای اثر معنی‌داری داشته‌اند و سایر عوامل اثر معنی‌داری از خود نشان نداده‌اندکه از جمله آنها می‌توان به عدم نقش مؤثر و معنی‌دار متغیرهای مقدار درصد شن، هدایت الکتریکی، ماده آلی و درصد مواد خنثی شونده (درصد آهک) سطحی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای در منطقه مورد نظر اشاره نمود. از جمله دلایل این امر می‌توان به عدم وجود مطالعات جداگانه در ارتباط با شناسایی عوامل مؤثر خاکی در ایجاد انواع مختلف خندق‌ها (خطی و پنجه‌ای) اشاره نمود. بطوری‌که در اکثر مطالعات انجام شده، مجموعه خندق‌های خطی و پنجه‌ای موجود در منطقه مطالعاتی مورد نظر بطور یکجا در نظر گرفته شده است، چه بسا که در صورت جداسازی مطالعات بر حسب نوع خندق‌ها در هر کدام از مناطق مطالعاتی مورد نظر، نتایج به گونه‌ای دیگر بدست می‌آمده است.

ب) نتایج حاصل از بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زیر سطحی مؤثر در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

به منظور شناسایی تأثیر آن دسته از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زیر سطحی که در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای در منطقه نقش داشته‌اند، اقدام به بررسی خصوصیات خاک زیرسطحی شد که نتایج آن در زیر آورده شده است.

توجه به نتایج موجود در جدول 3 نشان می‌دهد که از بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زیر سطحی، درصد رطوبت اشباع، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادلی کاتیونی، نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبادلی در ایجاد فرسایش خندقی پنجه‌ای اثر معنی‌داری داشته‌اند و سایر عوامل اثر معنی‌داری از خود نشان نداده است. وجود چنین شرایطی را می‌توان به انجام عمل انحلال در سازند حساس به فرسایش مرتبط دانست که حضور رطوبت و آب از یک طرف و همچنین وجود املاح محلول در خاک و سازند از طرف دیگر زمینه را برای انجام چنین فرسایشی مهیا نموده است.

جدول 2- نتایج حاصل از مقایسه میانگین بین مقادیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی داخل و خارج خندق‌های پنجه‌ای

Table 2- Result of the mean comparison of physical and chemical top surface soils on inside and outside restricted digitate gullies

متغیر مورد بررسی Test Variable	محدوده نمونه گیری Sampling Place	میانگین Mean	آزمون لون برای تعیین برابری واریانس‌ها Levene's Test for Equality of Variances			آزمون t برای تعیین برابری میانگین‌ها t-test for Equality of Means		
				مقدار F Value	سطح معنی‌داری Sig	مقدار t t Value	درجه آزادی Df	سطح معنی‌داری Sig
درصد شن Sand(%)	داخل خارج	11.805 15.866	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.088	0.771	1.796 1.796	16 15.985	0.154^{ns} 0.154^{ns}
درصد سیلت Silt(%)	داخل خارج	61.93 51.24	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.15	0.300	3.118 3.118	16 11.788	0.007* 0.009*
درصد رس Clay(%)	داخل خارج	27.11 32.88	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.322	0.578	-2.759 -2.759	16 15.648	0.014* 0.014*
درصد رطوبت اشباع SP(%)	داخل خارج	47.11 43.71	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	1.127	0.304	2.672 2.672	16 13.959	0.017* 0.018*
هدایت الکتریکی Ec	داخل خارج	16.52 11.92	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	2.442	0.138	1.752 1.752	16 15.156	0.099^{ns} 0.100^{ns}
اسیدیته Ph	داخل خارج	7.89 7.74	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.031	0.863	3.952 3.952	16 15.814	0.001* 0.001*
ماده آلی Om	داخل خارج	1.28 1.42	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها	6.970	0.018	-1.912 -1.912	16 61.67	0.074^{ns} 0.074^{ns}

			Equal Variance not assumed					
درصدمواد خنثی شونده T.N.V	داخل خارج	40.61 38.55	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	2.570	0.128	1.403 1.403	16 12.765	0.180^{ns} 0.185^{ns}
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	داخل خارج	10.54 7.44	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	27.25	0.000	2.223 2.223	16 11.196	0.04^{*} 0.047^{*}
نسبت جذب سدیم SAR	داخل خارج	42.1 29.81	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	27.65	0.000	2.209 0.222	16 11.171	0.042^{*} 0.049^{*}
درصد سدیم تبادلی ESP	داخل خارج	49.31 40.87	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	5.02	0.04	2.226 2.226	16 14.709	0.033^{*} 0.034^{*}

ns: عدم اختلاف معنی‌دار *: اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد

*: the different is significant at the 0.05 level Ns: not significant different

جدول 3- نتایج حاصل از مقایسه میانگین مقادیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های زیرسطحی داخل و خارج خندق‌های پنجه‌ای

Table 3- Result of the mean comparison of physical and chemical sub surface soils on inside and outside restricted digitate gullies

متغیر مورد بررسی Test Variable	محدوده نمونه‌گیری Sampling Place	میانگین Mean	آزمون لون برای تعیین برابری واریانس‌ها Levene's Test for Equality of Variances		آزمون t برای تعیین برابری میانگین‌ها t-test for Equality of Means		
				مقدار f F Value	سطح معنی‌داری Sig	مقدار t t Value	درجه آزادی Df	سطح معنی‌داری Sig
درصد شن Sand(%)	داخل خارج	16.73 19.81	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.157	0.697	-1.320 -1.320	16 15.868	0.206^{ns} 0.206^{ns}
درصد سیلت Silt(%)	داخل خارج	55.24 49.53	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	1.681	0.213	2.01 2.01	16 12.966	0.062^{ns} 0.066^{ns}
درصد رس Clay(%)	داخل خارج	30.77 30.54	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.835	0.374	0.099 0.099	16 12.732	0.923^{ns} 0.923^{ns}
درصد	داخل	49.83 43.07	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed	0.046	0.833	3.885 3.885	16 14.599	0.001^{*} 0.002^{*}

رطوبت اشباع SP(%)	خارج		با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed					
هدایت الکتریکی Ec	داخل خارج	20.19 10.12	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.884	0.361	4.179 4.179	16 13.326	0.001^{*} 0.002^{*}
اسیدیته pH	داخل خارج	7.81 7.81	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.96	0.761	1.095 1.095	16 15.408	0.290^{ns} 0.290^{ns}
ماده آلی Om	داخل خارج	1.01 1.14	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	0.411	0531	-1.559 -1.559	16 15.680	0.138^{ns} 0.139^{ns}
درصدمواد خنثی شونده T.N.V	داخل خارج	41.44 38.88	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	1.64	0.219	1.485 1.485	16 14.943	0.001^{*} 0.003^{*}
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	داخل خارج	9.93 6.42	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	8.691	0.009	3.949 3.949	16 9.187	0.01^{*} 0.003^{*}
نسبت جذب سدیم SAR	داخل خارج	39.75 25.72	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	9.243	0.008	3.949 3.949	16 9.187	0.01^{*} 0.003^{*}
درصد سدیم تبادلی ESP	داخل خارج	49.4 40.02	با فرض برابری واریانس‌ها Equal Variance assumed با فرض عدم برابری واریانس‌ها Equal Variance not assumed	1.921	0.185	3.225 3.226	16 10.845	0.005^{*} 0.008^{*}

ns: عدم اختلاف معنی‌دار
*: اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد
*: The different is significant at the 0.05 level
Ns: Not significant different

ج) نتایج حاصل از نقش عوامل مؤثر غیرخاکی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

همانطور که از مطالعات بر می‌آید عوامل مختلفی در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی در مناطق مختلف تأثیرگذار می‌باشند که عبارتند از عوامل اقلیمی و عوامل خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز. در این تحقیق با توجه به اهداف پژوهش که بررسی تأثیر برخی از عوامل مؤثر بر ایجاد خندق‌های پنجه‌ای بوده است از عوامل اقلیمی به دلیل آنکه آنها در روند شکل‌گیری و توسعه خندق‌ها نقش دارند و همچنین به دلیل فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی، از مطالعه روند توسعه و گسترش خندق‌ها صرف نظر شده است. همچنین از بین عوامل فیزیکی چهار عامل غیرخاکی شامل طبقات ارتفاعی، طبقات مختلف مقدار شیب، نوع لیتولوژی و نوع کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر در شکل‌گیری خندق‌های پنجه‌ای با استفاده از آزمون ناپارامتری کای‌اسکوئر (X^2) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که نتایج به شرح زیر بوده است:

1: اثر طبقات ارتفاعی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

نتایج نشان دادکه از بین 9 خندق پنجه‌ای موجود در منطقه، تعداد

3 عدد از آنها در طبقه ارتفاعی 400-350 متر، تعداد 1 خندق در طبقه ارتفاعی 450-400 متر، تعداد 2 خندق در ارتفاع 500-450 متر، تعداد 2 خندق در طبقه ارتفاعی 550-500 متر و 1 خندق نیز در طبقه ارتفاعی 600-550 متری واقع شده‌اند (جدول 4).

جدول 4- توزیع فراوانی خندق‌های پنجه‌ای بر حسب طبقه ارتفاعی
Table 4- Distribution of digitate gullies frequently on base of hypsometric classes

طبقه ارتفاعی Hypsometric classes	350-400	400-450	450-500	500-550	550-600
تعداد Number	3	1	2	2	1

نتایج حاصل از آزمون ناپارامتری کای‌اسکوئر در ارتباط با بررسی تأثیر طبقات ارتفاعی در شکل‌گیری و ایجاد خندق‌های پنجه‌ای، نشان داد که طبقات ارتفاعی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای مؤثر نبوده است؛ محاسبه مقدار کای‌اسکوئر برابر با (X^2=1/556)، با درجه آزادی برابر با (4) و سطح معنی‌داری بزرگتر از آلفای 5 درصد (Sig=0/817)، دلیلی بر این امر می‌باشد (جدول 8).

2: اثر طبقات مختلف مقدار شیب بر ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

بر اساس مطالعات انجام شده، از میان 9 خندق پنجه‌ای مورد بررسی، 3 تعداد آن در شیب 5-12 درصد و 6 خندق دیگر در طبقه شیب 25-12 درصد قرار داشتند (جدول 5).

جدول 5- توزیع فراوانی خندق‌های پنجه‌ای بر حسب طبقات مختلف شیب
Table 5- Distribution of digitate gullies frequently on base of Slope classes

طبقه شیب درصد Slope classes (%)	5-0	12-5	25-12	53-25
تعداد Number	0	6	3	0

نتایج حاصل از آزمون ناپارامتری کای‌اسکوئر در ارتباط با بررسی تأثیر نوع شیب در شکل‌گیری خندق‌های پنجه‌ای با محاسبه مقدار کای‌اسکوئر برابر با (X^2=1/000)، با درجه آزادی برابر با (1) و سطح معنی‌داری بزرگتر از آلفای 5 درصد (Sig=0/317) حاکی از آن است که مقدار و طبقات مختلف شیب در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای مؤثر نبوده است (جدول 8).

3: تأثیر لیتولوژی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

بر اساس نتایج بدست آمده در این مطالعه، مشخص شد که از بین 9 خندق پنجه‌ای مورد بررسی، 8 خندق در سازند لسی (با مساحت 2239 هکتار) و 1 خندق دیگر در سازند آبرفتی (با مساحت 120 هکتار) تشکیل شده است (جدول 6).

جدول 6- توزیع فراوانی خندق‌های پنجه‌ای بر حسب نوع لیتولوژی
Table 6- Distribution of digitate gullies frequently on base of Lithology type

نوع لیتولوژی Lithology Type	لس Loess	آبرفت Alluvium
تعداد Number	8	1

نتایج حاصل از آزمون کای‌اسکوئر در ارتباط با بررسی تأثیر نوع لیتولوژی در شکل‌گیری خندق‌های پنجه‌ای در جدول شماره (8) نشان داده شده است. بر این اساس، محاسبه مقدار کای‌اسکوئر برابر با (X^2=4/455)، با درجه آزادی برابر با (1) و سطح معنی‌داری کوچکتر از آلفای 5 درصد (Sig=0/020) نشان داد که شکل‌گیری خندق‌های پنجه‌ای در حوزه آبخیز مورد مطالعه، تحت تأثیر نوع سازندها بوده است. در اینجا به منظور اطمینان بیشتر از نقش هر یک از سازندها در ایجاد فرسایش خندق پنجه‌ای، از شاخص تراکم خندق‌ها در واحد سطح استفاده شده است تا به نوعی اثر مقادیر مختلف مساحت، کمترین تأثیر را در این ارتباط داشته باشد. توجه به این شاخص نیز نشان دهنده مؤثرتر بودن سازند لسی نسبت به سایر سازندهای موجود در منطقه در تشکیل خندق‌های پنجه‌ای می‌باشد.

4: اثر نوع کاربری اراضی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

نتایج نشان داد که از بین 9 خندق پنجه‌ای مورد مطالعه، 7 عـدد آن در اراضی مرتعی و 2 عدد دیگر در اراضی کشاورزی واقع می‌باشند (جدول 7).

جدول 7- توزیع فراوانی خندق‌های پنجه‌ای بر حسب نوع کاربری اراضی

Table 7- Distribution of digitate gullies frequently on base of Land use type

نوع کاربری Land use type	مرتع Range land	کشاورزی Farm Land	بدون پوشش (بایر) Non vegetationarea
تعداد Number	7	2	-

نتایج حاصل از آزمون کای‌اسکوئر در ارتبـاط بـا بررسـی تـأثیر کاربری اراضی در شکل‌گیری خندق‌های پنجه‌ای با محاسـبه مقـدار کای‌اسکوئر برابر با (X^2=4/545)، با درجه آزادی برابر با (1) و سـطح معناداری بزرگتـر از آلفـای 5 درصـد (Sig=0/096)، نشـان داد کـه کاربری اراضی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای منطقه مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری نداشته است (جدول 8). در این رابطه بایستی بیان نمود که توجه به شاخص تراکم خندق‌ها بیـان کننـده نقـش بیشـتر کـاربری مرتعی در ایجاد و تشکیل خندق‌های پنجه‌ای در منطقه اسـت کـه از جمله علل آن را می‌توان به وضعیت ضعیف مراتـع بـه علـت چـرای مفرط دام و تخریب خاک و متعاقب آن افزایش رواناب سطحی اشاره نمود.

جدول 8- نتایج حاصل از آزمون کای‌اسکوئر به‌منظور بررسی تأثیر عوامل غیرخاکی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

Table 8- Result of the X^2experiment order to investigation of non soil parametric on digitate gullies formation

متغیرهای مورد بررسی Test Variable	مقدار کای‌اسکوئر Value of X^2	درجه آزادی Df	سطح معنی‌داری Sig
طبقات ارتفاعی Hypsometric classes	1.556	4	0.817^{ns}
طبقات شیب Slope classes	1.00	1	0.317^{ns}
نوع لیتولوژی Lithology Type	5.444	1	0.020^{*}
نوع کاربری اراضی Land use type	2.788	1	0.096^{ns}

ns: عدم اختلاف معنی‌داری

*: معناداری در سطح 5 درصد

Ns: Not significant different

*: The different is significant at the 0.05 level

الف- بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک در ایجاد خندق‌هـای پنجه‌ای

جهت درک تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خاک بـر میـزان تغییـرات فرسایش (درصد شن، درصد سیلت و درصد رس)، در این تحقیق بـه کمک آزمون نرمالیته کلموگروف-اسمیرنوف از نرمال بـودن داده‌هـا اطمینان حاصل شد و سپس بـا کمـک آزمـون مقایسـه میـانگین دو جامعه آماری در مناطق شاهد (حوزه آبخیز بالادست خنـدق‌هـا) و در منطقه محدوده خندق‌های پنجه‌ای، مقایسه ویژگی‌های فیزیکی خاک صورت گرفت.

بررسی‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میزان درصد شن خاک‌های سطحی و زیر سطحی داخل و خارج (حوزه آبخیز بالادست خندق) از خندق‌های پنجه‌ای وجود ندارد. بعبارت دیگـر نقـش مقـدار شن در ایجاد این خندق‌ها تأثیرگذار نبوده و نقش قابـل ملاحظـه‌ای نداشته است. نتایج این بخش از تحقیق با یافته‌های ثروتی و همکاران (25)، عرب قشقایی و همکاران (3)، خزایی و همکاران (17)، خوجه و همکاران (18) مطابقت دارد.

در ارتباط با درصد سیلت، نتایج نشان داد که بین درصـد سـیلت خاک‌های سطحی خندق‌های پنجـه‌ای و درصـد سـیلت خـاک‌هـای سطحی مناطق شاهد (حـوزه آبخیـز بالادسـت خنـدق‌هـا) اخـتلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود دارد. بطوری‌که مقدار سـیلت در محدوده داخل خندق‌ها، بیشتر از منطقه شاهد (حوزه آبخیز بالادسـت خندق‌ها) بوده است اما در خاک‌های زیر سطحی اختلاف معنـی‌داری از نظر درصد سیلت در بـین منطقـه شـاهد (حـوزه آبخیـز بالادسـت خندق‌ها) و محدوده داخل خندق‌ها مشاهده نشد.

توجه به این یافته‌ها نشان می‌دهد که به علت وجود مقدار بیشتر ذرات سیلت (که به عنوان ذرات حساس به فرسایش مطرح هستند) در خاک‌های محدوده خندق‌ها، مقاومت خاک سطحی در برابـر عوامـل فرسایش دهنده نظیر جریان‌هـای سـطحی کمتـر شـده و خـاک بـه فرسایش حساسیت بیشتری از خود نشان خواهد داد. در نتیجه شرایط برای ایجاد مراحل اولیه فرسایش خندقی مها می گردد در نهایت پس از تشکیل مراحل اولیه خندق، سایر عوامل نظیر املاح محلول، منجـر به ادامه فرسایش و توسعه خندق‌ها خواهند شد. نتایج ایـن بخـش از

تحقیق با نتایج سلیمانپور و همکاران (29 و 30)، بیاتی خطیبی و همکاران (5)، خوجه و همکاران (18)، یثربی و همکاران (34) و تشکری (33) تطابق دارد.

از نظر مقدار رس بایستی بیان نمود که اختلاف معنی‌داری در بین خاک‌های سطحی داخل و خارج از خندق‌ها (حوزه آبخیز بالادست خندق‌ها) در سطح 5 درصد وجود داشته است. بطوری‌که مقدار رس در خاک‌های خارج از خندق‌ها بیشتر بوده است. در ارتباط با مقدار رس در خاک‌های زیرسطحی بایستی بیان نمود که اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. همانطور که می‌دانیم ذرات رس غیرتورم پذیر به دلیل چسبندگی زیادی که دارند در مقابل عوامل فرسایش دهنده از خود مقاومت نشان می‌دهند با توجه به آنکه در محدوده خندق‌ها مقدار رس تورم ناپذیر کمتر است این امر منجر به آن می‌شود که خاصیت چسبندگی خاک کمتر شده و خاک با توجه به زیاد بودن مقدار سیلت و زیاد بودن رس‌های تورم پذیر در مقابل عوامل فرسایشی، از خود مقاومت کمتری نشان دهند. نتایج این بخش از تحقیق با یافته‌های سلیمانپور و همکاران (29)، همخوانی دارد.

بررسی‌ها در ارتباط با درصد رطوبت اشباع نشان داد که بین خاک‌های سطحی در محدوده خندق‌ها و مناطق شاهد (حوزه آبخیز بالادست خندق) اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد معنی‌دار وجود داشته است. بطوری‌که مقدار درصد رطوبت اشباع در محدوده داخل خندق‌های پنجه‌ای بیشتر است. بررسی‌ها در ارتباط با درصد رطوبت اشباع خاک زیرسطحی در خندق‌های پنجه‌ای نشان از اختلاف معنی‌داری این متغیر در بین خاک‌های زیرسطحی داخل و خارج از خندق‌ها (حوزه آبخیز بالادست خندق‌ها) دارد. بطوری‌که در خاک زیر سطحی محدوده خندق‌ها درصد رطوبت اشباع بیشتری نسبت به خاک زیرسطحی خارج خندق‌ها وجود دارد. وجود درصد رطوبت اشباع بیشتر در خاک زیرسطحی محدوده خندق‌ها نشان از وجود جریانات زیرقشری در محدوده خندق‌ها است. وجود مقدار سیلت قابل ملاحظه در خاک‌های داخل خندق‌ها از یک طرف و وجود رطوبت مناسب از طرف دیگر شرایط را برای ایجاد فرسایش و توسعه خندق‌ها فراهم می‌نماید. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج مطالعات کریمی (16)، خوجه و همکاران (18) و تشکری (33) مطابقت دارد.

ب- بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها به کمک آزمون نرمالیته کلموگروف- اسمیرنوف، به کمک آزمون مقایسه میانگین دو جامعه آماری در مناطق شاهد (حوزه آبخیز بالادست خندق‌ها) و مناطق محدوده خندق‌های پنجه‌ای مقایسه ویژگی‌های شیمیایی خاک صورت گرفت.

بررسی‌ها در ارتباط با شوری خاک سطحی در محدوده داخل و خارج خندق‌های پنجه‌ای و مناطق شاهد (حوزه آبخیز بالادست خندق‌ها) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شوری خاک سطحی داخل و خارج این خندق‌ها وجود ندارد. همچنین بررسی‌ها در ارتباط با شوری خاک زیرسطحی محدوده داخل و خارج خندق‌ها نشان از اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد دارد. بطوری‌که مقدار شوری خاک زیر سطحی محدوده داخل خندق‌ها بیشتر از محدوده خارج از خندق می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان اثر شوری را در ایجاد این خندق‌ها مؤثر دانست. علت را می‌توان در این مطلب دانست که افزایش مقدار شوری در خاک زیرین در داخل مناطق خندقی نه تنها باعث از هم پاشیدگی بافت و ساختمان خاک می‌گردد بلکه باعث فرسایش‌پذیری خاک زیرسطحی و توسعه مناطق خندقی خواهد شد. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج مطالعات ثروتی و همکاران (25)، مرتضایی (20)، صیادی (26)، قشقایی (3)، خوجه و همکاران (18) و تشکری (33)، آونی (4)، بوخیر و همکاران (6) مطابقت دارد.

در ارتباط با مقدار اسیدیته خاک، بررسی‌ها نشان از اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد بین اسیدیته خاک سطحی در محدوده داخل و خارج از خندق‌های پنجه‌ای داشته است. اما عدم اختلاف معنی‌داری برای خاک زیرسطحی برای خندق پنجه‌ای و محدوده خارج از آن وجود داشته است. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج تشکری (33) مطابقت دارد. علت را می‌توان در ایجاد محیط بازی در خاک‌های محدوده خندق‌ها و وجود املاح بیشتر در این خاک‌ها و نهایتا وجود شرایط برای فرسایش بیشتر جستجو نمود که خاک را در مقابل فرسایش مستعدتر می‌نماید.

در ارتباط با کربن آلی بایستی بیان داشت که اختلاف معنی‌داری بین کربن آلی خاک سطحی و زیرسطحی برای خندق‌های پنجه‌ای و محدوده خارج آنها وجود نداشته است. علت را شاید در عدم تفاوت در پوشش گیاهی در محدوده خندق‌ها و خارج از آنها دانست که عاملی جهت عدم تفاوت معنی‌داری در ارتباط با کربن آلی خاک شده است. نتایج این بخش از تحقیق در رابطه با عدم تأثیرگذاری معنی‌دار ماده آلی در ایجاد خندق‌ها با یافته‌های تحقیقات ثروتی و همکاران (25)، سلیمانپور و همکاران (29)، خوجه و همکاران (18) مطابقت دارد.

بررسی‌ها در ارتباط با آهک (مواد خنثی شونده) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقدار آهک در خاک‌های سطحی و زیر سطحی داخل و خارج از خندق‌های پنجه‌ای وجود نداشته است. نتایج این بخش از تحقیق با یافته‌های فیض نیا و همکاران (11)، سلیمانپور و همکاران (29)، خوجه و همکاران (18)، یثربی و همکاران (34) مطابقت دارد.

بررسی‌ها در مورد ظرفیت تبادل کاتیونی نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد از نظر این متغیر هم در خاک‌های سطحی و هم در خاک‌های زیرسطحی در محدوده داخل خندق‌ها و

خارج از آنها (حوزه آبخیز بالادست خندق‌ها) وجود دارد. علت این امر فراهم شدن شرایط برای شکل‌گیری و گسترش فرسایش تونلی و فروریزی سقف دهلیزها یا دالان‌های تشکیل شده در اثر رشد افقی فرسایش تونلی و شکل‌گیری فرسایش خندقی با بریدگی‌های عمومی در رأس یا پیشانی خندق‌ها است که در لس‌ها از جمله پدیده‌های رایج به حساب می‌آید. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج ثروتی و همکاران (25)، خوجه و همکاران (18)، صیادی (26)، دادخواه (8)، خزایی و همکاران (17)، آونی (4)، بوخیر و همکاران (6)، داوودی راد و همکاران (9) و تشکری (33) مطابقت دارد.

بررسی‌های صورت گرفته در ارتباط با نسبت جذب سدیم نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد از نظر این متغیر هم در خاک‌های سطحی و هم در خاک‌های زیرسطحی در محدوده داخل و خارج از خندق‌ها (حوزه آبخیز بالادست خندق‌ها) وجود دارد. بطوری‌که مقدار این متغیر در خاک‌های سطحی و زیرسطحی محدوده داخل خندق‌های پنجه‌ای بیشتر می‌باشد. افزایش مقدار نسبت جذب سدیم در خاک‌های اطراف خندق‌ها، منجر به افزایش نمک‌های محلول در خاک شده و این امر منجر به افزایش حساسیت خاک به فرسایش خواهد شد. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج مرتضایی (20)، صیادی (26)، ثروتی و همکاران (25)، عرب قشقایی و همکاران (3) و تشکری (33) مطابقت دارد.

نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان از وجود اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد در ارتباط با درصد سدیم تبادلی در خاک‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های داخل و خارج از خندق پنجه‌ای دارد. بطوری‌که مقدار درصد سدیم تبادلی در خاک‌های داخل خندق بیشتر از محدوده خارج از خندق (حوزه آبخیز بالادست خندق‌ها) است. علت این امر آزاد شدن بیشتر سدیم در جایگزین شدن آن با کلسیم و یا پتاسیم و افزایش انتشارپذیری ذرات خاک در محدوده خندق‌های پنجه‌ای می‌باشد. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج مطالعات ثروتی و همکاران (25)، یثربی و همکاران (34)، مرتضایی (20)، صیادی (26) و تشکری (33) همخوانی دارد.

ج- بررسی عوامل مؤثر غیرخاکی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای

در حوزه آبخیز آق امام(2) می‌توان بیان نمود که طبقه ارتفاعی 350 تا 400 متر بیشترین سهم را در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای از خود نشان داده است. اما تأثیر طبقات ارتفاعی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای معنی‌دار نبوده است. با این وجود تمرکز خندق‌ها در ارتفاع کمتر از 500 متر بیشتر می‌باشد. یافته‌های این تحقیق با نتایج تحقیقات سلیمانپور (29)، بیاتی خطیبی و همکاران (5)، ثروتی و همکاران (25) و خزایی و همکاران (17) همخوانی دارد.

در ارتباط با اثرگذاری طبقات مختلف شیب در منطقه مورد مطالعه در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای بایستی بیان نمود که طبقه شیب 12 تا 25 درصد و پس از آن طبقه شیب 5 تا 12 درصد بیشترین سهم را در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای داشته‌اند هر چند که این اثرگذاری از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. علت این امر را می‌توان در دو مورد جستجو نمود. اول آنکه در شیب‌های خیلی کم به علت تراکم خاک و کم بودن قدرت جریان به ویژه جریان‌های زیر قشری، جریان آب قادر به ایجاد مراحل اولیه خندق یعنی تونل و هدکات نمی‌باشد بنابراین عملا در این شیب‌ها امکان ایجاد خندق بسیار پایین است. در شیب‌های بیشتر از 25 درصد نیز به علت کاهش ضخامت خاک و همچنین نفوذپذیری کمتر، امکان ایجاد خندق محدود می‌باشد، اما در طبقات شیب 12 تا 25 درصد و 5 تا 12درصد به علت برخورداری از شیب کافی و متعاقب آن تولید رواناب بیشتر و نیز وجود خاک و رسوبات با ضخامت مناسب و همچنین در اختیار بودن زمان کافی برای جریان‌های سطحی جهت نفوذ به داخل خاک و ایجاد مراحل اولیه تشکیل خندق، تراکم خندق‌ها بیشتر است. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج دی‌استفانو و همکاران (10)، قدوسی و داوودی راد (13)، ثروتی و همکاران (25)، خوجه (18)، راهی و همکاران (22)، یمانی و همکاران (33)، بیاتی خطیبی و همکاران (5)، مقصودی و همکاران (19)، فیض نیا و همکاران (11) و تشکری (33) مطابقت دارد.

از نظر تأثیر نوع لیتولوژی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای در منطقه مورد مطالعه بررسی‌ها نشان می‌دهد که نوع لیتولوژی تأثیر معنی‌داری در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای داشته است. بطوری‌که نوع لیتولوژی لس توانسته بیشترین اثرگذاری را در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای از خود نشان دهد. علت را می‌توان در حساسیت بسیار بالای این سازند و این نوع لیتولوژی به فرآیند فرسایش خاک، بخصوص فرسایش انحلالی دانست. بطوری‌که این اراضی به دلیل ضخامت لایه و ریزدانه بودن، شرایط را جهت ایجاد و توسعه خندق‌های پنجه‌ای در حوزه آبخیز آق امام(2) فراهم نموده است. بطوری‌که انحلال‌پذیری زیاد سازند لسی که از نظر زمین‌شناسی از رس و آهک همراه با مارن تشکیل شده‌اند در اثر پدیده انحلال و راهروهای زیرزمینی ایجاد شده و به تدریج این آبراهه‌ها توسعه پیدا کرده و سقف آن ریزش نموده و نهایتا خندق ایجاد می‌گردد. یافته‌های این بخش از تحقیق با نتایج قدوسی و داوودی راد (13)، عبدی (1)، زارع مهرجردی و همکاران (13)، ثروتی و همکاران (25)، شادفر و همکاران (27)، خوجه و همکاران (18)، راهی و همکاران (22)، بیاتی خطیبی و همکاران (5)، صیادی (26) و تشکری (33) همخوانی دارد.

بررسی‌ها در ارتباط با اثر نوع کاربری اراضی در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای نشان داد که انواع کاربری اراضی تأثیر معنی‌داری را در

ارتباط با ایجاد خندق‌های پنجه‌ای در منطقه از خود نشان نداده است. هر چند که کاربری مرتع سهم بیشتری را در ایجاد خندق‌های پنجه‌ای از خود نشان داده است. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج ثقفی و اسماعیلی (24)، جعفری گرزین و همکاران (15) و تشکری (33) مطابقت دارد.

منابع

1- Abdi P. 2009. Investigation of gully erosion characteristics on formation of Gomishan Abad Watershed of Zanjan. P1967-1970. Proceeding of the 11th soil science congress, 13-15 Jul. 2009.Gorgan, Iran.
2- Ahmadi H., Mohammady A., Ghoduosi J., and Salajegheh A. 2007. Management of Land form Gully by means investigation of effective factors and model presentation for long progressive potential gullies(Case study: Hableh Rood).P.243-246. Proceeding of the 4th Management of watersheds Conference. 8-10 Jul. 2007. Tehran, Iran. (In Persian).
3- Arabghashaee Z., Niknami Davoud., Shadfar S., and Moieni A. 2011. Gully erosion mapping on Toghrood Watershed of Firoozkooh. Journal of Geographical Land, 8(31):107-119. (In Persian with English Abstract).
4- Avni Y. 2005. Gully incision as a key factor in desertification in an arid environment, the Negev High lands.Catena, 63:185-220.
5- Bayati Khatibi M., Rajabi M., and Karami F. 2011. Investigation of topographic thresholds and analyzing role of surface materials on gully development in the hill slope of semi arid areas (Case study: Shoorchay).Geography and Environmental Planning Journal, 41(1):15-34. (In Persian with English Abstract).
6- Bou kheir R., Chorowicz J., Abdollah C., and Dhont D. 2008. Soil and bed rock distribution estimated from gully form and frequency: A GIS-based decision-tree model form Lebanon. Geomorphology, 93:482-492.
7- Bouma N.A., and Imeson A.C. 2000. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on Badland surface at petrer, Spain. Catena, 40:147-171.
8- Dadkhah M. 2007. Identification of affect of some effective factors on Gully erosion development in Loess regions (A Case Study: Arab ghareh Haji Watershed, Golestan Province). Msc thesis of Shahid Beheshti University. (In Persian).
9- Davoudi Rad E., Soufi M., and Najimi A. 2010. Investigation on Climate exchange of Gully region area and characteristic of Gully morphology in Markazi province. p 78-81. Proceeding of the 4th sediment and erosion congress, 9-11 sep. 2010. Gorgan, Iran.
10- Distefano C., Ferro V., Pampalone V., and Sanzone F. 2013. Field investigation of rill and ephemeral gully erosion in the Sparacia experimental area, South Italy. Catena, 75:226-234.
11- Feiznia S., Heshmati M., Ahmadi H., and Ghoduosi J. 2007. Investigation of gully erosion in Marly Agha-Jari formation in Zagross (Case study: Ghasre-Shirin, Kermanshah). Journal of Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 74:32-40. (In Persian with English Abstract).
12- Ghadiri H. 1991. Soil erosion. Chamran University Publication.450PP. (In Persian).
13- Ghoduosi J., and Davoudi Rad E. 2005. Effect of physical and chemical soil properties on gully erosion occurrence and that's morphology.p.7-8. Proceeding of the 2end soil and sediment conference. 4-6 Sep. 2005. Tehran, Iran. (In Persian with English Abstract).
14- Jafari Gorzin B., Domehri R. A., Safaei M., and Ahmadian S.H. 2007. Introducing some models for predicting gully volume growth (A case studies in Sorkh-Abad watershed – Mazandaran province).Journal ofPajouhesh & Sazandegi, 75:108- 117. (In Persian with English Abstract).
15- Jafarai Gorzin B., and Kavian A. 2009. Assessment of Gully Erosion Occurrence in Sorkh-Abad Watershed Using Remote Sensing and Geographical Information System. Watershed Management Science & Engineering Journal, 3(7):1-13. (In Persian).
16- Karimi M. 1998. Investigation of effective factors on Gully erosion and to recommendation the suitable method for that's control in zahan region of ghaen. Msc thesis of natural resources, Tarbiat Modarres University. (In Persian with English Abstract).
17- Khazaei M., Shafiee A., and Molaei A. 2012. Investigation of Effective factors on gully Development in Maroon Watershed. Journal of soil researches, 26(2): 153-163. (In Persian).
18- Khojeh J., Ghoduosi J., and R Esmaili. 2012. Investigation of the Relation of Soil Physiochemical Characteristics and Initiation and Expansion of Gully Erosion in Temer Ghareh Ghozi Watershed, Golestan Province. Journal of Watershed Management Research (Scientific and Research), 5(9):27-41. (In Persian with English Abstract).
19- Maghsoudi M., Shadfar S., and Abasi M. 2012. Mapping of Land sensitive for Gully erosion on Zavarian Watershed of Qom Province. Quantitative of Geomorphology Researches Journal, 2:35-52. (In Persian).
20- Mortezaee Gh. 2005. Assessment on quantitative affect of environmental factors on gully erosion occurrence. PhD thesis, Faculty of Agricultural and Natural resources, Islamic Azad university, Sciences and technology Tehran branch.135pp. (In Persian with English Abstract).
21- Poesen j., Vandekerchove L., Nachtergaele J., Ostwoudwijdenes D., and Verstraeten Gand Van Wesemael B.

2002. Gully erosion in dry land environments. In: Bull, J.kirkby, M.J (Eds). Dry lands Rivers: Hydrology and Geomorphology of semi-Arid channels, Willey, Chichester, and UK.p 229-262.
22- Rahi Gh., Nazari Samani A., AhmadiH., and Salajegheh A. 2010. Effect of Soil Characteristics on Gully Erosion Mechanism and Morphology in Genaveh District. Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 62(4):459-472. (In Persian with English Abstract).
23- Rienks S.M., Botha G.A., and Hughes J.C. 2000. Some physical and chemical properties of sediments exposed in a gully in Northern Kwa Zulu-Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layers. Catena, 39:11-31.
24- Saghafi M., and Esmaiely R. 2009. Morphometric Analysis of effective factors on gullies formation and transformation on shakhan watershed. Journal of Geography and development, 15:133-150. (In Persian).
25- Sarvati M. R., Ghodousi J., and Dadkhah M. 2008. Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses. Journal of Pajouhesh & Sazandegi, 75:20-33. (In Persian with English Abstract).
26- Sayadi M. 2006. Investigation on affect of some effective factors on Gully erosion development in Loess formation (A case Study: Kechic Watershed, Golestan Province). Msc Thesis of watershed management, Gorgan University, 120pp. (In Persian with English Abstract).
27- Shadfar S., Fatahi M., Sharifi A., and Peylashkaryan N. 2007. Investigation of Some effective factors on Gully erosion (A case Study: Ghashlagh Watershed of Albors province. P41-53. Proceeding of the 3rd soil and water management congress, 14-17 sep. 2007. Tehran. Iran.
28- Shadfar S. 2010. An Introduction to Gully Erosion. Entekhab Publication, Tehran.
29- Soleimanpour S.M., Soufi M., and Ahmadi H. 2009. Determining Effective Factors on Gully Development in Konartakhte Region, Fars Province. Journal of water and soil, 33(1):131-141. (In Persian with English Abstract).
30- Soleimanpour S.M., Soufi M., and Ahmadi H. 2010. A Study on the Topographic Threshold and Effective Factors on Sediment Production and Gully Development in Neyriz, Fars Province.Journal of Range and Watershed Management, 63(1):41-53. (In Persian with English Abstract).
31- Sundquist B. 2000. Top soil loss- Causes effects and implication. Science, 63:70-71.
32- Tashakori M. 2014. Investigation on effective factors on Gully erosion formation in Kal Aji Watershed. Msc thesis of Watershed Management, Islamic Azad University, Nour Branch. (In Persian with English Abstract).
33- Yamani M., Moghli M., and Karimi H. 2011. Gully erosion and its effect on settlement region in Marvdasht Ala area. Journal of Natural Geographic, 4(12):29-44. (In Persian with English Abstract).
34- Yasrebi B., Noormohamadi F., Sadeghi S.H., and Soufi M. 2013. Determination the role of topographic factors on the Gully erosion inception (A Case study: Dareh shahr Region of Ilam).Journal ofWatershed Management Science & Engineering, 7(21):53-58. (In Persian).
35- Zanjani Jam M., Soufi M., Bayat R., and Rasouli M. 2012. Investigation on morpho - climatic characteristics of gullies in order to classify gully affected regions in Zanjan province Iran. Journal of Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 99:2-10. (In Persian with English Abstract).
36- Zare Mehrjerdi M., Soufi M., Choupani S., and Barkhordari J. 2005. Investigation of relationship between Morphological characteristics of gully and soil properties on Kandavan Region of Hormozgan Province. P562-565. Proceeding of the 3rd sediment and erosion congress, 8-10 sep.2005.Tehran, Iran.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 1978-1992

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 1992-1978

Determination of Effective Factors on the Occurrence of Digitated Gully Erosion in the AghEmam$_{(2)}$ Watershed

M. Mohammad Ebrahimi[1]**- M. R. Javadi**[2*]**- M. Vafakhah**[3]

Received: 14-03-2015
Accepted: 11-09-2016

Introduction: Soil erosion by water is one of the most important processes of land degradation, especially in semi-arid areas. Among different types of the soil erosion, gully erosion accounts as one of the most critical processes which can cause soil destruction, changes in landscape and water resources filling of reservoir of dams,decrease in water transport capacity of rivers and agricultural lands destruction in the lowland areas. Based on the Posen definition, gully is a river with high slope walls and an erosive high slope and active head which occurs by erosion resulted from the surface flow (usually during or after high density rainfalls). Different factors play role in occurrence and development of gullies and sediment production resulted of this kind of erosion which includes slope, amount and distribution of rainfall intensity, construction operations, vegetable cover destruction, land-use change, unsuitable utilization, and susceptibility of bed materials to the erosion and flood. Considering the importance of gully erosion and the way of its occurrence and development and its control, more comprehensive studies are needed to be done. Although, some studies have done in this subject that some of them are depicted below:

Rinkez et al showed that gully erosion is further occurred in soils with high exchangeable sodium percentage and sodium absorption ratio and they depicted that these two factors are important indices for soil diffusion amount in gullies. Buma and imson investigated factors such as electricity conductivity, calcium carbonate percentage, and the type of clay mineral in white, brown, and gray samples of marl in the Peter area, Spain. According to their results, factors such as electrical conductivity and sodium absorption ratio had high correlation with erosivity of the Bad Lands.

Materials and Methods: Agh Emam$_{(2)}$ watershed is located between 55º 42´ 53˝ to 55º 45´ 43˝ eastern longitudes and 37º 41´ 01˝ to 37º 46´ 19˝ northern latitudes in the east parts of the Golestan province with an area of 2,595 hectares. Arab gharehaji rural is considered as the most important area which is located at the outlet of the basin. In current study, at first, frame work and total surface of the area were investigated by field observations and 9 digitated gullies were observed during field observations. Then, spatial position of each gully was determined by using global positioning system and map of gully distribution was obtained for the study area. Then, by overlaying this map on lithology, slope degree and altitude maps of the study area, the mentioned characteristics were determined for the gullies. After sampling from the soil, they were carried to the lab and clay percentage, silt percentage, sand percentage, saturation humid percentage, electrical conductivity, acidity, organic matter percentage, exchangeable sodium percentage, sodium absorption ratio, percentage of neutrophil materials for two considered depths were measured. Then, two statistical tests were applied in order to determine the significance and or non- significance of different physical and chemical characteristics of the soil which are compare means of two statistical populations and t-Student tests. Also, a non- parametric (chi-square) test was used in order to determine the statistical analysis of the effect of non-soil factors of occurrence of digitated gullies including slope classes, altitude classes, lithology and land use.

Results: Initial investigations of the field observations, aerial photos and satellite images showed that different factors play role in the occurrence of digitated gully in the study area. So, physical and chemical characteristics of the soil, slope classes, altitude classes, lithology and land use were investigated in current study.

A: Results of the effective physical and chemical characteristics of the surface and sub- surface soil on the occurrence of digitated gully erosion

Results showed that, there wasn't statistically significant difference between the percentages of sand, electrical conductivity, organic matter and lime, out of the digitated gully erosion (upland of the gully and beholder area) and their amounts in surface soils in the digitated gully, but, there was significant difference for

1 and 2- M.Sc. Educated Student of Watershed Management and Assisstant Professor of Department of Natural Resources, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran
(*- Corresponding Author Email: javadi.desert@gmail.com)
3- Associate Professor of Department of Watershed Management, Tarbiat Modares University

silt, clay, saturated humidity percentage, cation- exchange capacity (CEC), exchangeable sodium percentage and sodium absorption ratio. Also, the results showed that there wasn't statistically significant difference between the sand percentage, silt percentage, clay percentage, acidity, organic material and lime in sub- surface soils out of the digitated gully erosion (upland of the gully and beholder area) and their amounts in sub- surface soils in the digitated gully, but, there was significant difference for saturated humidity percentage, electrical conductivity, cation- exchange capacity, sodium absorption ratio and exchangeable sodium percentage.

B: Results of the role of non- soil effective factors on the occurrence of the digitated gully erosion

The results of the non- parametric Chi- Square test of the effect of slope classes, altitude classes, lithology and landuse on the occurrence of digitated gullies showed that only lithology affected the occurrence of the digitated gullies. The results of current study are compatible with the results of Ghoddusi and Davoodirad, ZareMehrjerdi et al, Servati et al, Shadfar et al, Khuje et al, Rahi et al, Bayati Khatibi et al, Sayadi and Tashakkori.

Conclusion: Totally, it can be said that saturated humidity percentage, cation- exchange capacity, sodium absorption ratio and exchangeable sodium percentage as soil factors had effective role on gully erosion occurrence in the study area, while, lithology was effective among the non- soil factors. Therefore, considering these factors is necessary in order to control the erosion.

Keywords: Lithology, Landuse, Gully erosion, Physical and chemical characteristics of the soil