

تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش خندقی و مرفولوژی خندق ها

جمال قدوسی و مسعود داوری

به ترتیب استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری و دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

فرسایش خندقی یکی از انواع فرسایش آبی است که موجب تخریب اراضی و برهم خوردن تعادل در پهنه‌های منابع طبیعی و اراضی کشاورزی می‌شود. یکی از عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی و تشکیل انواع خندقها خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است. در این مقاله سعی گردیده است رابطه بین رخداد فرسایش خندقی و شکل‌گیری انواع خندقها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر اساس نتایج حاصل از تحقیق انجام شده در حوزه آبخیز زنجانرود واقع در شمال غرب کشور ارائه شود. تحقیق انجام شده به منظور دستیابی به هدف فوق مبتنی بر اجرای پژوهش در دو مرحله شناسایی ویژگیهای منطقه تحقیق در چارچوب مطالعات و بررسیهای متداول طرحهای آبخیزداری و تهیه نقشه‌ها و جداول و ذخیره آمار و اطلاعات ذریع در محیط GIS از یکسو و مشخص نمودن مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در واحدهای همگن و تقسیم‌بندی خندقهای موجود در منطقه تحقیق بر اساس مرفولوژی آنها با استفاده از داده‌های سنجش از دور همراه با عملیات میدانی و نقشه‌برداری پلان انواع خندقها همراه با تشریح پروفیل خاک و تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک از سوی دیگر بوده است. به طوری که برای بررسی رابطه بین رخداد فرسایش خندقی و مرفولوژی خندقها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق خندقی شده در مقایسه با مناطق شاهد خندقی نشده از آزمونهای *Kruskal - Wallis*، تجزیه واریانس، *LSD* و تجزیه و تحلیل همستگی بین مرفولوژی خندقها به عنوان متغیر وابسته و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به عنوان متغیرهای مستقل استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمون‌های آماری انجام شده نشانگر این بوده است که با توجه به روند افزایشی رشد و گسترش خندق‌ها، از بین پارامترهای خاک مقادیر پارامترهای اسیدیته (*PH*) و هدایت الکتریکی (*EC*) درصد اشباع خاک (*SP*) در اقله‌های *A* و *B* و *C* خاک محل تشکیل خندقهای شاخه درختی، پنجه انگشتی و جبهه‌ای دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ بوده و سایر پارامترها نقشی در ایجاد خندقها با مرفولوژیهای مختلف ندارند. افزون بر این تجزیه و تحلیل همستگی بین درصد رس، سیلت و شن، درصد اشباع خاک، هدایت الکتریکی و درصد گچ موجود در خاک مثبت و رابطه بین آنها در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. جمع بندی حاصل از انجام این تحقیق بیانگر این است که شکل‌گیری و ایجاد انواع شبکه خندقها تابعی از بافت خاک در اقله‌های 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 مرکب به شدت افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: فرسایش خندقی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

خاک، مرفولوژی خندقها، فرسایش تونلی، حوزه آبخیز زنجانرود

مقدمه

فرسایش خاک به وسیله آب و پیامدهای ناشی از آن از دیرباز مورد توجه پژوهشگران حفاظت خاک بوده است. از میان انواع مختلف اشکال فرسایش آبی، فرسایش خندقی یکی از عوامل مهم و تهدید کننده تعادل منابع زیست محیطی و پایداری آن محسوب می‌شود. به طوری که این تهدید تنها محدود به ایجاد تغییرات ناپهناجر در منظر زمین، تخریب اراضی و از بین رفتن خاک و عدم امکان فعالیتهای کشاورزی و بهره برداری اقتصادی از عرصه‌های طبیعی نمی‌شود، بلکه با رخداد و گسترش این نوع فرسایش، جاری شدن تند آبها و سیل، جابجائی حجم قابل توجهی از رسوبات و پیامدهای ناشی از آن و بالاخره غیر قابل استفاده شدن اراضی تشدید می‌شوند. این نوع فرسایش به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان در مواردی که بهره‌برداری از منابع خاک و آب و گیاه (پوشش گیاهی) مبتنی بر اصول صحیح و متناسب با توانهای طبیعی و شرایط محیطی نباشد، موجب تغییرات قابل ملاحظه در منظر اراضی و پیامدهای زیان بار اقتصادی و اجتماعی می‌شود (DeLuna و همکاران، ۲۰۰۰، Ezochi، ۲۰۰۰).

به رغم توجه فراوان کارشناسان فرسایش و حفاظت خاک به فرسایش خندقی در قرن بیستم و مطالعه و بررسی در زمینه عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش این نوع فرسایش، در سالهای پیش از دهه ۱۹۳۰ میلادی که اقدام به طبقه بندی اشکال مختلف فرسایش آبی بوسیله متخصصین فرسایش خاک شده است، می‌توان ادعا نمود که بیشترین تعداد بررسی‌ها، مطالعات و تحقیقات علمی در باره فرسایش خندقی در چند دهه اخیر صورت پذیرفته است (Zachar، ۱۹۸۲). علت این موضوع مربوط به انجام پژوهش‌های علمی درباره انواع فرسایش خاک به وسیله آب در مقیاسهای مزرعه‌ای و حوزه‌های آبخیز می‌شود که بطور عمده در گذشته محدود به پلاتهای تحقیقاتی بوده است (Baade، ۲۰۰۰). آنچه توسط اکثریت قریب به اتفاق پژوهشگران فرسایش خاک درباره فرسایش خندقی پذیرفته شده می‌باشد، پیچیده بودن چگونگی شکل‌گیری و روند رشد و گسترش خندق‌ها در شرایط مختلف محیطی و اقدامات متفاوت عامل انسان در بهره برداری از منابع خاک و آب و گیاه است. به طوری که این نوع فرسایش خاک را نمی‌توان در تمامی مناطق تنها محدود به نوع معینی از سازند های زمین شناسی، وضعیت توپوگرافی، خصوصیات خاک، استفاده از اراضی، شرایط اقلیمی، ویژگیهای آب‌وهوایی نمود (Bobrovistskaya، ۲۰۰۰).

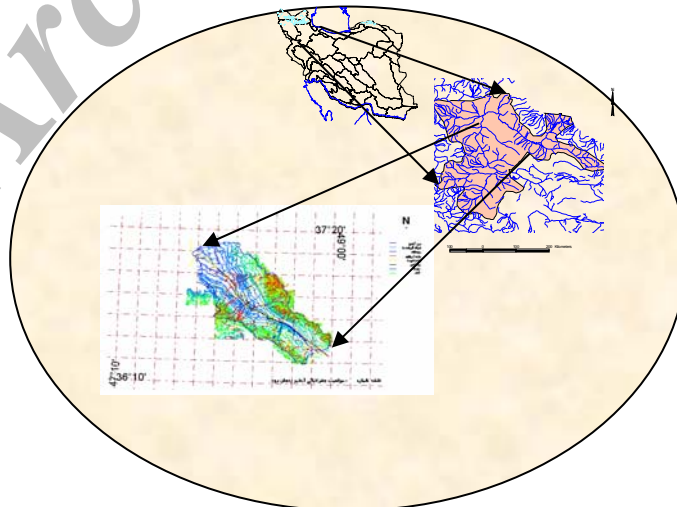
حوزه‌های آبخیز هر یک از خندق‌های ایجاد شده و نظایر آن نمود (Imeson و Kwaad، ۱۹۸۰)، بنابراین بدلیل پیچیده و متفاوت بودن نحوه و روند شکل‌گیری، رشد و گسترش فرسایش خندقی، لازم است در نقاط مختلف در باره این نوع فرسایش اقدام به بررسی‌های دامنه‌دار شود. تحقیق حاضر نیز در این راستا و به منظور دستیابی به رابطه بین رخداد فرسایش خندقی و مرفولوژی خندقها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در حوزه آبخیز زنجانرود انجام شده است. به طوری که مطالعات مربوط به شناسایی ویژگیهای آن در چارچوب روش متداول در مطالعات طرحهای آبخیزداری انجام شده است. بر این اساس منطقه تحقیق یکی از زیر آبخیزهای حوزه آبخیز سفید رود است که در شمال غرب ایران و در غرب استان زنجان واقع شده است. این حوزه آبخیز با مساحتی حدود ۴۷۲۷/۳۶ کیلومتر مربع در حد فاصل طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۴ دقیقه و ۵۵ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۱۳ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). که مشخصات توپوگرافی و فیزیوگرافی آن در جدول (۱) ارائه شده است. افزون بر این منطقه تحقیق از نظر زمین شناسی متشکل از سازندهای دوران پرکامبرین تا عهد حاضر و از نظر شکل رویه زمین مشتمل بر واحدهای کوه، تپه، دشتهای دامنه‌ای و تراسهای جوان حاشیه رودخانه‌ای است که ویژگی‌های مربوط به آنها همراه با مشخصات خاک، پوشش گیاهی و هواشناسی واقلم در جداول (۲) تا (۵) آورده شده است.

به عقیده متخصصین فرسایش و حفاظت خاک فرسایش خندقی پدیده ناشی از عملکردهای درونی بین مجموعه عواملی است که مهمترین آنها حجم، سرعت و نوع رواناب‌های سطحی، خصوصیات خاک، تغییرات بوجود آمده در حفاظ روی خاک و نحوه استفاده از اراضی می باشد. اما Hudson (۱۹۸۵) و Morgan (۱۹۹۶) معتقدند که خندق‌ها بیشتر بر اثر ناپایداری اراضی و در اثر اقدامات و فعالیت‌های انسان به ویژه بهره برداری غیر اصولی از اراضی حاصل می شوند. به طوری که فرسایش خندقی در اکثر موارد به اقدامات عامل انسان در بهره‌برداری از زمین بستگی داشته و عوامل محیطی در درجه دوم از اهمیت قرار دارند. Patton و Schumm (۱۹۸۱) با تحقیقات خود در باره شکل‌گیری فرسایش خندقی به این نتیجه رسیده‌اند که وقتی آستانه ژئومرفولوژی در یک منطقه از حد مجاز تجاوز نماید یا نیروی فرساینده‌ی روانابهای سطحی به حدی افزایش یابد که ذرات خاک را از توده خاک جدا نموده و حمل نماید، در این صورت اولین مرحله شکل‌گیری فرسایش خندقی آغاز می‌شود و در مراحل بعدی خندق‌ها گسترش پیدا می‌کنند. به اعتقاد Schumm (۱۹۷۹) در ایجاد و شکل‌گیری فرسایش خندقی عوامل بیرونی نظیر آب و هوا و اقدامات انسان همراه با عوامل طبیعی نظیر خصوصیات ژئومرفولوژی و خاک مشارکت می‌نمایند.

نظر به اینکه جنبه‌های مختلف فرسایش خندقی به رغم تحقیقات گسترده انجام شده در جهان هنوز بدرستی شناسایی و معرفی نشده است (Belyaev، ۲۰۰۰؛ Lane و Foster، ۱۹۸۳؛ Foster، ۱۹۸۸؛ Hadley و همکاران، ۱۹۸۵ و Harvey، ۱۹۸۵) و نمی‌توان با اطمینان زیاد، شکل‌گیری، رشد و گسترش فرسایش خندقی را به طور مثال محدود به رابطه ساده بین شیب و سطح حوزه آبخیز واقع در سر خندقها و خصوصیات فیزیوگرافی و یا ارتباط بین مرفولوژی جداره‌ها، سطح مقطع و شیب خندقها با سایر خصوصیات فیزیکی



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز زنجان رود

جدول (۱) مشخصات توپوگرافی و فیزیوگرافی آبخیز زنجانرود

- مساحت: ۴۷۲۷/۳۶ کیلومتر مربع،
- محیط و طول آبخیز به ترتیب: ۲۸۲/۳ و ۱۲۹/۹۴ کیلومتر.
- تراکم شبکه آبراهه‌ها (شبکه زهکشی طبیعی): ۳/۱۲ کیلومتر بر کیلومتر مربع،
- ارتفاع آبخیز از سطح دریا: حداقل ۱۱۱۰ متر در محل اتصال زنجانرود به رودخانه قزل اوزن و حداکثر ۲۱۹۷ متر در مرز شمالی آبخیز،
- شیب متوسط آبخیز: ۳/۸۲ درصد شامل واحدهای ژئومورفولوژی دشت‌های سرپوشیده با شیب ۵-۱ درصد، پادگانه‌های آبرفتی با شیب ۸-۵ درصد، تپه‌ها با شیب ۸-۲۵ درصد و واحد کوهستان با شیب بیش از ۲۵ درصد،
- جهت عمومی دامنه‌ها: شمالی و جنوبی،
- میانه و میانگین وزنی ارتفاع آبخیز به ترتیب: ۱۷۷۵/۰۰ و ۱۷۸۷/۵۵ متر از سطح دریا.

جدول (۲) مشخصات شکل رویه زمین و تیپ اراضی

تیپ اراضی	شیب عمومی (درصد)	شیب مؤثر (درصد)	اختلاف سطح اراضی (متر)	سایر مشخصات	واحد های اراضی
(۱) کوهستان	> ۲۵	در جهت های مختلف و نامشخص	> ۱۰۰ و عموماً بین ۵۰۰ - ۱۵۰۰	نوع و مشخصات خاکها متفاوت، عمق خاک بین خیلی کم تا نسبتاً عمیق، تراکم پوشش گیاهی کم تا متوسط	۱.۳ و ۱.۲
(۲) تپه ها	۸ - ۲۵	در جهت های مختلف و نامشخص	۵۰ - ۵۰۰	نوع و مشخصات خاکها متفاوت، عمق خاک بین کم تا عمیق، در برخی نقاط خاک های عمیق تکامل یافته تراکم پوشش گیاهی کم تا متوسط	۳.۲، ۲.۲، ۲.۱، ۲.۴ و ۲
(۳) فلاتها	۵ عموماً محدب	حداکثر ۲۵	۵۰ - ۲۵	نوع و مشخصات خاکها متفاوت، عمق خاک زیاد همراه با تجمع آهک و در برخی نقاط همراه با لایه های سنگریزه و تجمع گچ، تراکم پوشش گیاهی کم تا متوسط	۴ و ۳.۲، ۳.۱، ۳
(۴) دشت های دامنه ای	۵ - ۱ (به ندرت کمتر از ۱)	حداکثر ۸	< ۵	خاک نسبتاً عمیق و بدون سنگریزه یا با سنگریزه کم و تکامل یافته، تراکم پوشش گیاهی متوسط تا زیاد	۴.۲ و ۴.۱

جدول (۳) گروه های بزرگ خاک و مساحت تحت پوشش هر یک از آنها

گروه های بزرگ خاک	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
Lithic Xerorthents	۱۴۷۶۴۱/۹۱	۳۱/۲۳
Typic Xerorthents	۱۴۳۸۹۸/۹۷	۳۰/۴۴
Typic Xerochrepts	۹۶۱۳۲/۶۷	۲۰/۳۳
Calcic Xerolic Xerochrepts	۶۰۵۰۶/۳۲	۱۲/۸۱
Lithic Xerorthents , Typic Xerorthents	۱۹۰۶۵/۶۸	۳/۴
Halaquepts	۵۴۹۰/۴۵	۱/۱۶

جدول (۴) میزان تراکم پوشش گیاهی هر یک از جوامع گیاهی

ردیف	جوامع گیاهی	حداقل تراکم (درصد)	حداکثر تراکم (درصد)	تراکم متوسط (درصد)
۱	<i>Astragalus , Artemisia</i>	۱۰	۸۵	۴۵
۲	<i>Crataegus , Astragalus</i>	۳۵	۸۰	۵۵
۳	<i>Hulthemia , Artemisia</i>	۲۵	۸۵	۵۰
۴	<i>Hulthemia , Salsola</i>	۱۰	۳۵	۱۵
۵	<i>Salsola , Hulthemia</i>	۵	۲۵	۱۰

جدول (۵) مشخصات هوا و اقلیم

الف- دمای هوا:

- میانگین سالانه در ایستگاه زنجان ۳۰/۱۰ و در ایستگاه حسین آباد ۱۰/۵ درجه سانتی گراد،
- تغییرات درجه حرارت نسبت به ارتفاع معادل ۰/۷۲ درجه سانتی گراد به ازای هر یکصد متر ارتفاع از سطح دریا.

ب - نم یا رطوبت هوا!

- میانگین سالانه رطوبت نسبی معادل ۵۷ درصد.

ج - تبخیر و تعرق!

- متوسط سالانه تبخیر از سطح آزاد آب معادل ۲۱۳۳/۳ میلی متر در ایستگاه زنجان و ۲۱۴۵/۲ میلی متر در ایستگاه حسین آباد،
- تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه بر اساس داده‌های ایستگاه‌های زنجان و حسین آباد با استفاده از روش تورنویت ۵۳۳/۲۴ میلی متر.

د - بارندگی!

- متوسط بارندگی سالانه ۲۹۹ میلی متر با تغییرات ۲۱۶ میلی متر در پایاب و ۵۱۳ میلی متر در سرآب حوزه آبخیز،
- ضریب تغییرات بارندگی ۲۱/۴ درصد با تغییر پذیری نسبی ۰/۲۱،
- پراکنش فصلی بارندگی شامل بیشتر مقدار بارندگی در فصل بهار و کمتر مقدار بارندگی در فصل تابستان با تغییرات ۴۳-۳۵ درصد در فصل بهار، ۳۴-۲۶ درصد در فصل زمستان، ۲۱-۳۳ درصد در فصل پائیز و ۵-۳ درصد در فصل تابستان،

اقلیم منطقه بر اساس روش دمارتن اصلاح شده خشک تا نیمه خشک سرد به ترتیب از پایاب به سمت سرآب آبخیز

در انجام این تحقیق افزون بر استفاده از آمار و اطلاعات حاصل از بررسی ها و مطالعات پیشین انجام شده در منطقه تحقیق و بهره گیری از نتایج بند الف؛ از عکسهای هوایی سالهای ۱۳۳۵ و ۱۳۴۶ به ترتیب با مقیاس های ۱:۵۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای لندست - TM مربوط به سالهای ۱۳۷۰ و ۱۳۷۷، ابزار و ادوات نقشه برداری، تشریح پروفیل و نمونه برداری از خاک، استریوسکوپ های جیبی و آینه دار، و بسته های نرم افزاری SPSS و ILWIS استفاده شده است.

روشهای مورد استفاده در این تحقیق مبتنی بر بهره گیری از نقشه های پایه تهیه شده در قالب بند الف (شناسایی ویژگی های منطقه تحقیق) برای تعیین مناطق خندقی شده و طبقه بندی آنها با هدف مشخص کردن مناطق همگن از نظر طبقات ارتفاعی، واحدهای سنگی، شیب، جهت، گروههای بزرگ خاک، تیپ های گیاهی، استفاده از اراضی و متوسط بارندگی سالانه در محیط GIS بوده است. به طوری که پس از تعیین مناطق همگن اقدامات زیر به مرحله اجرا در آمده است:

۱- شناسایی موقعیت و توزیع مکانی فرسایش خندقی با استفاده از تفسیر عکسهای هوایی سالهای ۱۳۳۵ و ۱۳۴۶ به ترتیب با مقیاس های ۱:۵۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای لندست - TM مربوط به مقاطع زمانی ۱۳۷۰ و ۱۳۷۷ و مشخص کردن مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی از طریق آشکار سازی خندقها در هر یک از واحدهای همگن همراه برای تهیه نقشه مربوطه در محیط GIS،

۲- تعیین تغییرات ایجاد شده در مساحت اراضی تحت تأثیر فرسایش خندقی طی سالهای ۱۳۳۵ تا ۱۳۷۷ همراه با طبقه بندی خندق ها از نظر مرفولوژی،

۳- مشخص کردن مناطق تحت تأثیر انواع خندق ها و انتخاب پهنه های آزمایشی در هر یک از پهنه های همگن همراه با انجام برای

انجام بازدیدها و عملیات میدانی شامل نهایی کردن تقسیم بندی مناطق همگن بر اساس مرفولوژی خندق ها و انتخاب ۳ خندق در هر یک از پهنه های آزمایشی همراه با نقشه برداری خندق ها برای تهیه پلان آنها مشتمل بر ۱۲ خندق در ۴ پهنه آزمایشی،

۴- تشریح پروفیل و تهیه نمونه های خاک بر اساس نتیجه حاصل از تشریح پروفیل خاک در سه نقطه در طول هر خندق شامل دهانه خروجی، بخش میانی و رأس خندق ها،

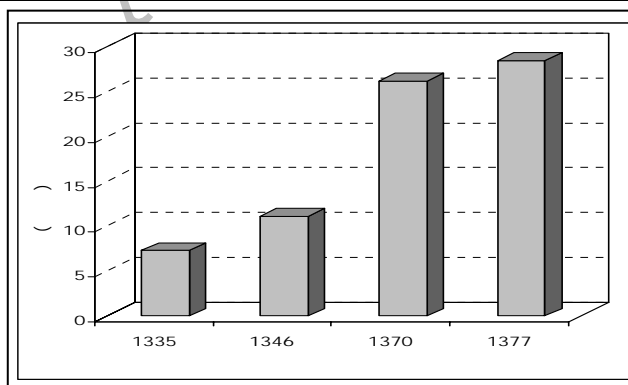
۵- بررسی رابطه بین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک با تراکم فرسایش خندقی و مرفولوژی خندقها با استفاده از تجزیه و تحلیل فراوانی، و انجام آزمونهای Kruskal-Wallis، تجزیه واریانس، LSD و تجزیه و تحلیل همبستگی بین تراکم و مرفولوژی خندق ها به عنوان متغیرهای وابسته و پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک به عنوان متغیرهای مستقل از طریق ایجاد روابط رگرسیونی.

نتایج و بحث

۱ - با توجه به بررسی رابطه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با رخداد و تراکم فرسایش خندقی و مرفولوژی خندقها: با استفاده از داده های به دست آمده از پهنه های آزمایشی، نتیجه حاصل از تجزیه و تحلیل های انجام شده در باره تغییرات وسعت اراضی خندقی شده نشانگر این است که اراضی تحت تأثیر فرسایش خندقی صرف نظر از انواع خندق ها طی سالهای ۱۳۳۵ تا ۱۳۷۷ دارای روند افزایشی در منطقه تحقیق بوده است (جدول ۶ و شکل ۴).

جدول (۶) تغییرات زمانی وسعت اراضی خندقی شده طی سالهای ۱۳۳۵-۱۳۷۷

سال	جمع مساحت تحت تأثیر فرسایش خندقی (هکتار)	جمع مساحت فاقد فرسایش خندقی (هکتار)	مساحت تحت تأثیر (درصد)	میزان گسترش مساحت تحت تأثیر نسبت به سال مینا (هکتار)	میزان گسترش نسبت به سال مینا (درصد)	درصد تجمعی
۱۳۳۵	۲۴۴۱۶/۲	۴۳۸۳۱۹/۸	۷/۳	—	—	۲۵/۵
۱۳۴۶	۵۲۴۷۳/۷	۴۲۰۲۶۲/۳	۱۱/۱	۱۸۰۵۷/۵	۳/۸	۳۸/۹
۱۳۷۰	۱۲۳۸۲۷/۱	۳۴۸۹۰۸/۹	۲۶/۲	۷۱۳۵۳/۴	۱۵/۱	۹۱/۸
۱۳۷۷	۱۳۴۹۱۱/۶	۳۳۷۸۲۴/۴	۲۸/۵	۱۱۰۸۴/۵	۲/۳	۱۰۰
جمع	۱۳۴۹۱۱/۶	۴۷۲۷۳۶	۲۸/۵	۱۰۰۴۹۵/۵	۲۱/۲	—

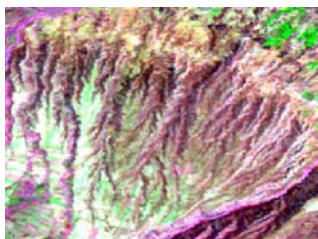


Year	Area (ha)	Percentage Increase (%)
1335	24416.2	7.3
1346	52473.7	11.1
1370	123827.1	26.2
1377	134911.6	28.5

شکل (۴) تغییرات مساحت اراضی خندقی شده طی سالهای ۱۳۳۵-۱۳۷۷

دارای شیب بین صفر تا حداکثر ۲۰ درصد می‌باشند، ایجاد شده و تغییرات مربوط به گسترش انواع خندقها در آنها یکسان نمی باشد. به طوری که خندق های جبهه‌ای و محوری به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان رشد و گسترش طی سالهای مورد مطالعه در منطقه تحقیق بوده اند (جدول ۷ و شکل ۱۰).

۲- نتایج حاصل از بررسی مرفولوژی خندقها نشانگر این است که در منطقه تحقیق جمعاً چهار گروه از خندقها شامل خندقهای محوری شاخه درختی، پنجه انگشتی، جبهه‌ای ساده و جبهه‌ای مرکب وجود دارد (شکل های ۵ الی ۹). افزون بر این مشخص شده است که خندقها به طور کلی در واحدهای ژئومرفولوژی دشتهای دامنه‌ای، دشت های میان تپه‌ای و میان- کوهی که



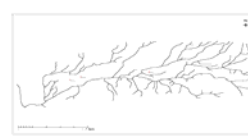
شکل (۵) تصویری از خندق های نایب‌وسسته جبهه ای مرکب در منطقه تحقیق



شکل (۶) پلان شاهد خندق های محوری شاخه درختی و پنجه انگشتی



شکل (۷) پلان شاهد خندق های محوری شاخه درختی

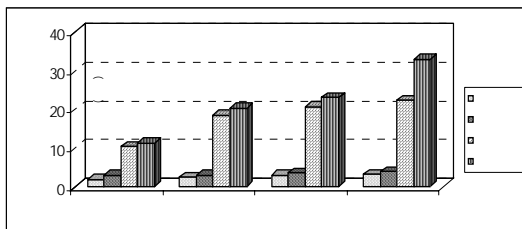


شکل (۸) پلان شاهد خندق های جبهه ای شکل

شکل (۹) پلان شاهد خندق های جبهه ای مرکب

جدول (۷) تغییرات تراکم خندق ها طی سالهای ۱۳۳۵-۱۳۷۷

نسبت تراکم خندق ها در دوره های مختلف (نرخ رشد)			سال	نوع خندق از نظر بافت
۱۳۳۵-۱۳۷۷	۱۳۳۵-۱۳۷۰	۱۳۳۵-۱۳۴۶		
۱/۷۹	۱/۶۶	۱/۳۹	۱۳۳۵	محوری
۱/۸۱	۱/۶۹	۱/۴۰	۱۳۴۶	پنجه انگشتی
۲/۱۴	۱/۹۸	۱/۷۸	۱۳۷۰	جبهه ای
۲/۹۲	۲/۰۳	۱/۸۰	۱۳۷۷	جبهه ای مرکب



شکل (۱۰) تغییرات تراکم انواع مختلف خندق ها طی سالهای ۱۳۵۵-۱۳۷۷

خندق ها در سطح ۱٪ معنی دار می‌باشد. به عبارت دیگر به استثنای دو پارامتر یاد شده ، سایر پارامترهای فیزیکی ، شیمیایی در افق A محل تشکیل انواع خندق ها با مرفولوژی های مختلف مشابه می باشند. این درحالی است که نتیجه بدست آمده از تجزیه واریانس

۳- بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی افق های مختلف خاک در محل تشکیل خندق ها از طریق به کارگیری آزمون Kruskal-Wallis نشان دهندهی این است که تنها اختلاف بین اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) در افق‌های A برای تمامی گروه‌های

نشانگر معنی‌دار بودن اختلاف بین درصد اشباع، (SP%) و اسیدیته (pH) خاک در سطح ۱٪ و معنی‌دار بودن اختلاف بین هدایت الکتریکی (EC) و ظرفیت نگهداشت آب در خاک در فشار ۰/۱ بار اتمسفر (SWC = ۰/۱ Bar) در سطح ۵٪ در افق‌های A در محل تشکیل انواع خندق ها می باشد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون LSD نیز مشخص کننده این است که اختلاف بین میانگین های: الف) درصد اشباع (SP%) خاک های محل ایجاد خندق های جبهه‌ای با خندق‌های محوری و پنجه انگشتی، ب) اسیدیته (pH) خاک محل تشکیل خندق های پنجه انگشتی با خندق های محوری و جبهه‌ای، ج) ظرفیت نگهداشت آب در خاک در فشارهای ۰/۱ و ۰/۳ بار اتمسفر (SWC = ۰/۱، ۰/۳ Bar) خاک محل تشکیل خندق های محوری با خندق های پنجه انگشتی و جبهه ای، د) هدایت الکتریکی (EC) خاک خندق های پنجه انگشتی با خندق‌های جبهه‌ای در افق های A در سطح ۵٪ معنی دار است (جدول ۸). از این رو می توان نتیجه گرفت که تراکم و مرفولوژی خندق ها تابعی از پارامترهای یاد شده در افق A است.

از طرف دیگر نتیجه آزمون های مشابه انجام شده در مورد ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی افق های B در محل تشکیل انواع خندق ها مبین این است که بین درصد شن، سیلت و رس، نگهداشت آب در خاک در فشارهای ۰/۱ تا ۱۵ بار اتمسفر و هدایت الکتریکی خاک محل تشکیل خندق ها اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ وجود دارد. این در حالی است که نتیجه حاصل از تجزیه واریانس نیز حاکی از معنی دار بودن اختلاف بین پارامترهای درصد شن، سیلت، رس، درصد اشباع، نگهداشت آب در خاک در فشارهای ۰/۱ تا ۱۵ بار اتمسفر، هدایت الکتریکی در سطح ۱٪ و درصد گچ در سطح ۵٪ در افق B خاک محل تشکیل خندق ها است (جدول ۸). شایان ذکر است که معنی دار بودن اختلاف بین میانگین مقادیر پارامترهای فیزیکی شامل درصد شن، سیلت و درصد اشباع خاک در محل تشکیل گروه های مختلف خندق ها از یک سو و درصد رس و نگهداشت آب در خاک در فشارهای ۰/۱ تا ۱۵ بار اتمسفر در محل تشکیل خندق های محوری با خندق های پنجه انگشتی و جبهه ای و هدایت الکتریکی و درصد گچ در محل تشکیل خندق های جبهه‌ای با خندق های محوری و پنجه

انگشتی به مفهوم تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی افق B در شکل گیری خندق ها با مرفولوژی مختلف است. نتیجه حاصل از آزمون LSD نیز تایید کننده نتایج آزمون های انجام شده به شرح فوق است.

در افق C نیز نتیجه آزمون های مشابه انجام شده نشانگر این است که اختلاف بین درصد مقادیر شن، سیلت و رس، درصد اشباع، نگهداشت آب در خاک در فشار ۱۵ بار اتمسفر و هدایت الکتریکی افق C در محل تشکیل گروه های مختلف خندق ها بر اساس آزمون Kruskal-Wallis در سطح ۱٪ معنی دار است. نتیجه حاصل از تجزیه واریانس نیز نشان دهنده معنی دار بودن اختلاف بین درصد شن، سیلت و رس، درصد اشباع، نگهداشت آب در خاک در فشار ۳ و ۱۵ بار اتمسفر و هدایت الکتریکی افق های C در محل تشکیل انواع مختلف خندق ها می باشد. وجود اختلاف معنی دار بین میانگین مقادیر پارامترهای الف) درصد مقادیر شن و سیلت خاک محل ایجاد خندق های محوری با خندق های پنجه انگشتی و جبهه ای، ب) درصد رس خاک محل تشکیل خندق های جبهه ای با خندق های محوری و پنجه انگشتی، ج) درصد اشباع خاک در محل ایجاد انواع خندق، د) درصد آب موجود در خاک محل تشکیل خندق های محوری با خندق های پنجه انگشتی و جبهه ای در فشارهای ۰/۱ تا ۱۵ بار اتمسفر، ه) هدایت الکتریکی خاک در محل ایجاد خندق های جبهه ای با خندق های محوری و پنجه انگشتی، و) درصد آهک کل خاک در محل ایجاد خندق های پنجه انگشتی با خندق های جبهه ای نیز مبین متفاوت بودن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی افق های C در محل تشکیل انواع خندق ها است.

به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که شکل‌گیری انواع مختلف خندق ها از نظر مرفولوژی افزون بر تبعیت از پارامترهای درصد اشباع، اسیدیته (pH)، درصد آب خاک و هدایت الکتریکی در افق A تابعی از پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در افق‌های B و C می‌باشد. به نحوی که تعداد پارامترهای خصوصیات فیزیکی خاک در معنی‌دار شدن اختلاف بین آنها از سطح به عمق خاک افزایش می‌یابد. مهمترین پارامترها به ترتیب عبارتند از: هدایت الکتریکی، درصد اشباع خاک، درصد شن، سیلت و رس و درصد آب خاک در فشارهای ۰/۱ و ۰/۳ بار اتمسفر (جدول ۸).

جدول (۸) خلاصه نتیجه آزمون آماری خصوصیات فیزیکی خاک مؤثر در تنوع بافت خندق ها

افق خاک	نوع آزمون	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	درصد اشباع (SP%)	اسیدیته (PH)	درصد آب خاک			
							0.1bar	0.3bar	3 bar	15bar
A	- Wallis Kruskal	-	-	-	-	*	-	-	-	-
	ANOVA	-	-	-	*	*	-	-	-	*
	LSD	-	-	-	*	*	-	-	-	*
B	- Wallis Kruskal	*	*	*	-	-	*	*	*	*
	ANOVA	*	*	*	*	-	*	*	*	*
	LSD	*	*	*	*	-	*	*	*	*
C	- Wallis Kruskal	*	*	*	*	-	*	-	-	-

گیری و ایجاد خندق های جبهه ای به حساب می آید. افزون بر این افزایش درصد رس از سطح به عمق خاک در افق‌های B و C باعث اشباع خاک

۴ - شایان ذکر است که افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک نشانگر افزایش مواد قابل انحلال موجود در آن بوده که عامل اساسی در شکل

عنوان متغیرهای مستقل) از طریق ایجاد رابطه رگرسیونی (جدول ۹)، نشانگر موارد زیر است:

۱-۵- رابطه بین درصد شن با تراکم خندق ها معکوس بوده و ضریب همبستگی بین آنها در سطح ۵ درصد معنی دار است. به عبارت دیگر، با افزایش میزان شن، تراکم خندق ها و در نتیجه احتمال خطر فرسایش خندقی کاهش می یابد.

۲-۵- رابطه بین درصد سیلت و رس، درصد اشباع خاک، درصد آب خاک در فشارهای ۰/۱ و ۱۵ بار اتمسفر، هدایت الکتریکی و درصد گچ موجود در خاک مستقیم بوده و ضریب همبستگی بین آنها در سطح ۵٪ معنی دار است. به طوری که با افزایش میزان هر یک از آنها، تراکم خندق ها نیز افزایش می یابد. در شکل (۱۱) رابطه بین تراکم خندقها با میزان شن موجود در خاک به طور نمونه ارائه شده است.

سطحی و جریان یافتن روانابهای زیر قشری می گردد. در چنین شرایطی به طور معمول خندق های جبهه ای و جبهه ای مرکب در اثر رخداد فرسایش تونلی (اتحالی) ایجاد می شوند (احمدی، ۱۳۷۴؛ رفاهی، ۱۳۷۵؛ Bell، ۱۹۶۸؛ Brink و همکار، ۱۹۸۳؛ Bryan و همکار، ۱۹۸۲؛ Harvey و همکاران، ۱۹۸۵؛ Kirkby و همکاران، ۱۹۶۷؛ Morgan، ۱۹۹۶). این موضوع در تشکیل خندق های جبهه ای و جبهه ای مرکب با توجه به معنی دار بودن اختلاف بین مقادیر هدایت الکتریکی در خاک محل تشکیل این نوع خندق ها با خندق های محوری شاخه درختی و پنجه انگشتی در حوزه آبخیز زنجانرود نیز نیز صادق است.

۵- با توجه به مطالب فوق و مشخص شدن پارامترهای مربوط به خصوصیات خاک در شکل گیری انواع خندق ها، نتیجه بررسی حاصل از رابطه بین تراکم انواع خندق ها (به عنوان متغیر وابسته) با پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (به

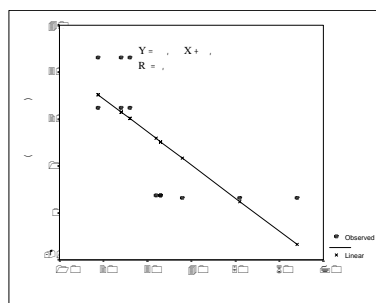
جدول (۹) نتایج ایجاد روابط رگرسیونی بین تراکم خندق ها با پارامترهای خصوصیات فیزیکی خاک

روابط رگرسیونی	r	P	α	متغیر مستقل
$Y = 0.7068X + 38/5011$	٪۶۵	٪۹۵	-/۰۲۳	درصد شن
$Y = 0.9984X - 16/522$	-/۶۵	٪۹۵	-/۰۲۳	درصد سیلت
$Y = 1/39.04X - 33/677$	-/۶۴	٪۹۵	-/۰۲۳	درصد رس
$Y = 1/4264X - 51/091$	-/۱۸۶	٪۹۵	-/۰۰۲	درصد اشباع خاک
$Y = 0.9970X - 31/291$	-/۶۹	٪۹۵	-/۰۱۲	درصد میزان آب خاک در فشار ۰/۱ بار اتمسفر
$Y = 1/2216X - 30/128$	-/۶۶	٪۹۵	-/۰۱۹	درصد میزان آب خاک در فشار ۰/۳ بار اتمسفر
$Y = 2/0612X - 34/015$	-/۷۶	٪۹۵	-/۰۰۴	درصد میزان آب خاک در فشار ۱۵ بار اتمسفر
$Y = 1/7842X + 4/6524$	-/۱۸۴	٪۹۵	-/۰۰۱	هدایت الکتریکی خاک (میلی زیمنس بر سانتیمتر)
$Y = 32/7656X + 7/0901$	-/۷۵	٪۹۵	-/۰۰۵	درصد گچ

خندقی شدن اراضی با خاکهای سیلتی و رسی به مراتب بیشتر از خطر رخداد فرسایش خندقی در خاکهای سبک است. علاوه بر این باید توجه داشت که افزایش هدایت الکتریکی خاک به طور معمول ناشی از افزایش املاح محلول در خاک حاصل می شود. از این رو در چنین شرایطی رخداد فرسایش تونلی موجب افزایش خطر خندقی شدن اراضی می گردد. که این موضوع در سازگاری با یافته های پژوهشی احمدی (۱۳۷۴)، Baillie و همکاران (۱۹۸۶)، Carson (۱۹۶۹)، Hadley و همکاران (۱۹۸۵)، Kirkby (۱۹۶۹) و USDA (۱۹۷۷) است.

نتیجه گیری و جمع بندی

با توجه به نتایج حاصل از تحقیق حاضر می توان نتیجه گرفت که شکل گیری و ایجاد انواع شبکه خندق ها، تابعی از خصوصیت بافت خاک. به طوری که در خاکهای ریزدانه و سنگین به دلیل زیاد بودن درصد سیلت و رس، درصد اشباع و درصد نگهداشت آب در خاک تراکم خندق ها زیاد بوده که نشانگر زیاد بودن احتمال شکل گیری فرسایش خندقی در این نوع خاکها است (احمدی، ۱۳۷۴ و Hadley و همکاران، ۱۹۸۵). از اینرو، خطر



شکل (۱۱) رابطه بین تراکم خندق با درصد شن موجود در خاک

- D.B. Simons Symposium on Erosion and sediment, Colorado State University, Fort Collins, pp.9.65-9.82.
- 14- Foster, G.R., 1988. Modelling Soil erosion and sediment Yield. In Lal, R. (ed.): Soil Erosion Research Methods: 97-117. SWCS. Ankeny. 244pp.
- 15- Hadley, R.F., R. Lal, C.A. Onstad, D.E. Walling and A. Yair, 1985. Recent Developments in Erosion and Sediment Yield Studies, Technical Documents in Hydrology. UNESCO. Paris.
- 16- Harvey, M.D., C.C. Watson and S.A. Schumm, 1985. Gully Erosion. Tech. Note. 366. USDA Bureau of Land Management. Denver. 181pp.
- 17- Hudson, N.W., 1985. Soil Consevation. Batsford. London.
- 18- Imeson, A.C. and F.J. Kwaad., 1980. Gully types and gully Prediction . KNAG Geografish Tijdschrift. 15(5): 430-441.
- 19- Kirkby, M.J., 1969. Erosion by water on hillslopes. In Chorley, R.J.(ed.) : Water, Earth and Man. Methuen. London.
- 20- Kirkby, M.J. and R.J. Chorley, 1967. Throughflow, overland flow and erosion. Bull. Int. Assoc. Sci. Hydr. XII :5-21.
- 21- Leopold, L.B., M.G. Wolman and J.P. Miller. 1964. Fluvial processes in geomorphology. Freeman, San Francisco. 522pp.
- 22- Morgan, R.P.C., 1996. Soil Erosion and Conservation. Second Edition. Silsoe College, Cranfield University. 198pp.
- 23- Patton, P.C. and S.A. Schumm, 1981. Ephemeral stream processes : implication for studies of Quaternary Valley fills. Quaternary Research 15 : 24-43.
- 24- Schumm, S.A., 1979. Geomorphic threshold: the concept and its applications. Transactions of the Institute of British Geographers new Series, 4 : 485-515.
- 25- USDA, Soil Conservation Service Engineering Division. 1977. Procedure for Determining Rate of Land Damage, Land Depreciation and Volume of Sediment Produced by Gully Erosion. FAO. Rome. 1977.1:125.
- 26- Zachar, D., 1982. Soil Erosion. Amsterdam, Elsevier.
- ۱- احمدی، ح.، ۱۳۷۴. ژئومرفولوژی کاربردی، جلد ۱، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۴ ص.
- ۲- رفاهی، ح.، ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران. ۵۵۱ ص.
- 3- Baade, J., 2000. Ephemeral gully erosion concepts and consequences, Elsevier, Catena Verlag. Cremlingen.
- 4- Baillie, I.C., P.H. Faulkner, G.D. Espin, M.J. Levett and Nichol森, 1986. Problems of protection against piping and surface erosion in centra Tunisia. Environm Conserv, 13(1): 27-40.
- 5- Bell, G.L., 1968. Piping in the badlands of North Dakota. Proc. 6th Annual Eng. Geol. And Soil Eng. Symp. Boise Idaho (Boise, Idaho Dept. Highways) : 242-257.
- 6- Belyaev, V.R., 2000. Specific features of gully formation under different natural conditions. Geographic Faculty, Moscow State University. Moscow.
- 7- Bobrovistskaya, N.N., 2000. Hydrological, meteorological and morphological aspects of studying gully erosion in period of global change, Elsevier, Catena Verlag. Cremlingen.
- 8- Brink, J.W. and P.D. Jungerius, 1983. The deposition of Stony Colluvium on clay soil as a cause of gully formation in the Rif mountains, Morocco, Earth Surf. Proc. and Land f.8 :281-285.
- 9- Bryan, R. and A. Yair(eds.), 1982. Badland geomorphology and piping, Geobooks, Norwich.
- 10- Carson, M.A., 1969. Soil moisture. In Chorley,R.J. (ed.): Water, Earth and Man : 185-195. Methuen, London.
- 11- De Luna, E., K. Vanderlinden, J.M. De Haro, A. Laguna, J. Poesen and J.V. Giraldez, 2000. Monitoring of long-term gully head advance in South - east Spain using GIS. Elsevier, Catena Verlag. Cremlingen.
- 12- Ezochi, J.I., 2000. The influence of runoff, lithology and water table on the dimensions and rate of gully Processes in Eastern, Nigeria. Elsevier, Catena Verlag. Cremlingen (Web-Site).
- 13- Foster, G.R. and L.J. Lane, 1983. Erosion by concentrated flow in farm fields. In