

ارزیابی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک بر میزان گسترش فرسایش خندقی

قباد رستمی‌زاد*: استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

زهرا خانبابایی: دانش‌آموخته‌ی دکتری ژئومرفولوژی و دبیر آموزش و پرورش استان زنجان

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰)

چکیده

یکی از انواع فرسایش‌های آبی که به تخریب اراضی و برهم خوردن تعادل در پهنه‌های منابع طبیعی منجر می‌شود، پدیده‌ی فرسایش خندقی است. تخریب اراضی کشاورزی حاصلخیز، برهم خوردن منظر زمین و تعادل اکولوژیک و به مخاطره افتادن منابع زیستی، پژوهش در زمینه‌ی فرسایش خندقی در شهرستان دره‌شهر را گریزناپذیر و الزامی می‌سازد. بنابراین، این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک بر گسترش خندق در شهرستان دره شهر استان ایلام انجام شد. در همین راستا، ابتدا منطقه را به ۱۲ واحد کاری تقسیم کردیم، سپس در هر واحد کاری سه تکرار و در نهایت تعداد ۳۶ خندق در پهنه‌ی خندقی دره شهر در استان ایلام انتخاب شد. سپس خصوصیات هندسی و فیزیکی - شیمیایی خاک خندق‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه‌های رقومی مربوطه و عملیات میدانی مشخص شد. برای تعیین میزان اثرگذاری این عوامل بر هر یک از مشخصات ژئومتری خندق و رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل، از رگرسیون چند متغیره استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان شوری، نسبت سدیم قابل جذب و سدیم محلول دارای بیشترین ضریب تأثیر و به ترتیب معادل ۳/۴۳، ۷/۵۵ و ۳/۹۵ است و بیشترین نقش را در گسترش طول خندق ایفا می‌کند. حال آنکه مواد آلی و مجموع کلسیم و منیزیم چون نقش چسبندگی و فولکوله کردن خاک را برعهده دارند، مانع از گسترش خندق می‌شوند. همچنین بر اساس مدل گسترش سطح مقطع، میزان نسبت سدیم قابل جذب (۳/۴۱)، سدیم تبادلی (۲/۸۷) و گچ (۲۰۷۴) بیشترین ضریب تأثیر را در افزایش سطح مقطع دارد. مجموع کلسیم و منیزیم (۰/۳۶-) و مواد آلی (۰/۰۹۷-) نیز بیشترین نقش را در مهار ابعاد خندق و جلوگیری از گسترش آن ایفا می‌کنند.

واژگان کلیدی: خصوصیات هندسی، خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک، رگرسیون چندمتغیره، عکس

هوایی، فرسایش خندقی.

۱- مقدمه

خطر فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در محدوده‌های کوهستانی از موارد قابل توجه در آمایش سرزمین است. فرسایش خاک در این مناطق از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی یا به‌طور کلی از آثار بارز تغییرات محیطی و اکولوژیک به حساب می‌آید (Zhou, 2008 & Bayati Khatibi et al, 2011). پیامدهای فرسایش

شامل تلفات خاک، ته نشینی رسوب در مخازن و از بین رفتن زمین های زراعی و پوشش گیاهی است (Evans and Linds, 2010 & Rahnema Rad, 2010). از میان انواع مختلف فرسایش آبی، فرسایش خندقی یکی از مهم ترین رخداد های مؤثر در نابودی خاک، تغییر منظر زمین، تخریب منابع آبی و پسرقت اراضی است. این نوع فرسایش از دو جنبه بر محیط زیست تأثیر می گذارد؛ از یک سو با تخریب افق های سطحی و زیرین خاک به تولید رسوب در حجم زیاد و نابودی بستر تولید منجر می شود و از سوی دیگر، باعث تشدید در تخلیه ی رواناب های سطحی و کاهش حجم جریان آب های زیرزمینی از طریق کوتاه کردن ارتباط بین مناطق بالادست و پایین دست می شود (Nazari Samani et al, 2009). با توجه به اینکه فرسایش خندقی غالباً در شیب های زیر ۱۵٪ اتفاق می افتد و اراضی واقع در این شیب معمولاً از نظر اقتصادی و اجتماعی برای انسان ها بسیار اهمیت دارد و محل گسترش مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی به شمار می رود، مطالعه پیرامون این نوع از فرسایش و تعیین میزان هدر رفت خاک ناشی از آن از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود (Rostamizad, 2019). فرآیندی که به ایجاد خندق و توسعه ی آن در سطح منجر می شود، با جاری شدن آب و فرسایش صفحه ای و ایجاد شیارهای سطحی متأثر از فرسایش شیاری با شیب همسان نسبت به دامنه آغاز می شود و با گذشت زمان و با عمیق شدن شیارها ادامه می یابد (Keller Edward, 2011).

یکی از مهم ترین مسائل در بحث پایش و ارزیابی فرسایش خندقی، تعیین معیاری برای استخراج و شناخت این نوع از فرسایش است. نتایج حاصل از بررسی های Rostamizad و همکاران (2015) با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره ی گام به گام در استان ایلام نشان داد که مشخصات ژئومتری خندق در منطقه ی مورد مطالعه تابعی از سطح بالادست، ضریب گردی حوضه، انحنای دامنه، شیب محلی سر خندق و درصد تاج پوشش حوزه آبخیز خندق خواهد بود. در پژوهشی دیگر از Rostamizad و همکاران (2014) مشخص شد که گسترش طولی خندق، تابعی از نسبت جذب سدیم، درصد شن و میزان انحنای دامنه و گسترش حجمی خندق، تابعی از سطح مقطع خندق، درصد آهک و ضریب کشیدگی حوزه آبخیز بالادست خندق است. Farid و همکاران (2018) برای شناخت مکانیسم شکل گیری خندق ها در حوزه آبخیز قوری چای واقع در شمال استان اردبیل (دشت مغان)، به ارائه ی مدل رگرسیونی از طریق بررسی عوامل مؤثر زمین محیطی و ویژگی های خاک بر رخداد فرسایش آبکندی پرداختند. نتایج آنها نشان داد گسترش طولی آبکنند بیشتر تحت تأثیر مساحت پیرامون هر آبکنند و درصد ماده آلی خاک است. Ebrahimi (2018)، به بررسی اثر عوامل خاکی مؤثر بر وقوع فرسایش خندقی در حوزه آبخیز آق امام پرداخت. نتایج این بررسی نشان داد که میزان درصد سیلت، درصد رطوبت اشباع، هدایت الکتریکی، مواد خنثی شونده، درصد کاتیون تبادل، نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبدالی به دلیل مقادیر بیشتر و اختلاف معنی دار آماری، توانستند نقشی مؤثر در ایجاد فرسایش خندقی از خود نشان دهند. در پژوهشی در منطقه ی کیاسر و بررسی خندق های منطقه به این نتیجه رسیدند که چهار متغیر لیتولوژی، کاربری زمین، خاک و شاخص رطوبت توپوگرافی به عنوان مؤثرترین

عوامل و فاکتورهای زمینه‌ساز در فرآیند فرسایش خندقی، انتخاب و بر اساس میزان همبستگی هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته ضرایب مربوطه محاسبه شد (Farajzadeh et al, 2012).

Shadfar و همکاران (۲۰۱۳) به مقایسه‌ی فرسایش خندقی در کاربری‌های زراعی و مرتعی در حوزه آبخیز رباط ترک پرداختند. نتایج آنها نشان داد که میزان SAR و کاتیون سدیم، عامل پخش شدن ذرات خاک و تشدید فرسایش خندقی در هر دو واحد کاری بوده‌است. در واحد کاری زراعی، میزان ماده آلی از ۴/۳۴ تا ۱/۹۹ درصد و در واحد کاری مرتعی، از ۴/۹۳ الی ۴/۳۳ درصد تغییر می‌کند. در واحد کاری مرتعی در یک سطح مشخص، تعداد خندق‌ها بیشتر و نسبت به واحد کاری زراعی فعال‌تر است. ضمناً عواملی مانند pH و EC نیز در واحد کاری مرتعی بیش از واحد زراعی می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی‌ها و تحقیقات انجام شده در ایران، بیانگر متفاوت بودن عوامل و میزان تأثیر آنها در ایجاد فرسایش خندقی و رشد و گسترش آن در نقاط مختلف ایران است؛ به‌طور مثال، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در سازند گچساران نشان داد که دو عامل درصد نمک‌های محلول و مساحت حوضه خندق، بیشترین تأثیر را در ایجاد فرسایش خندقی داشته‌است (Ahmadi, 2011).

این پژوهش با توجه به اهمیت و نقش فرسایش خندقی در میزان هدر رفت خاک و تخریب اراضی افزون بر تولید رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه و به دلیل وجود اراضی حاصلخیز کشاورزی با پتانسیل بالای تولید و نزدیکی این اراضی به مناطق شهری در شهرستان دره شهر و فقدان مطالعه‌ی جامع پیرامون خندق‌های منطقه انجام شد. بنابراین، هدف از این تحقیق مشخص کردن ویژگی‌های خاکی مؤثر در گسترش خصوصیات هندسی فرسایش خندقی و پیش‌بینی گسترش آن می‌باشد. شناسایی عوامل مؤثر در گسترش این فرآیند می‌تواند رهیافتی برای کمک به مدیران و مسئولان در مهار فرسایش خندقی و جلوگیری از گسترش آن باشد.

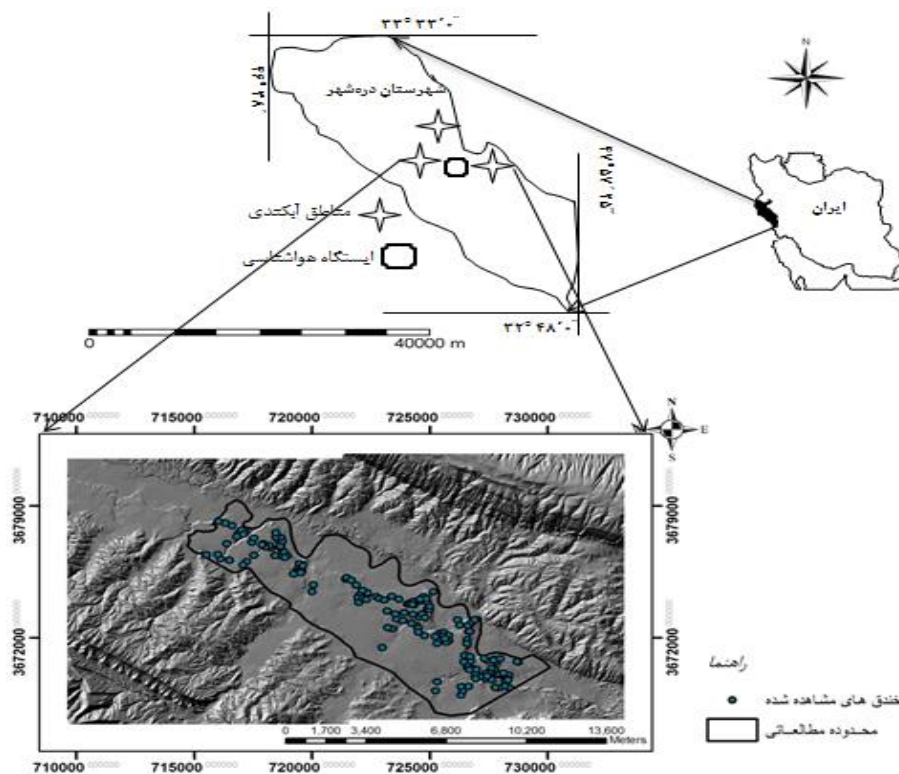
۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

پهنه‌های خندقی متعددی در استان ایلام وجود دارد که در این تحقیق پهنه‌ی دره شهر مورد بررسی قرار گرفت. این پهنه در شهرستان دره شهر و در شرق استان ایلام در محدوده‌ی جغرافیایی بین ۳۰°۴۷ تا ۳۰°۴۶ طول جغرافیایی و ۱۴°۱۲ تا ۳۳°۲۳ عرض جغرافیایی قرار دارد. سازند زمین‌شناسی از رسوبات دریاچه‌ای تشکیل شده که ناشی از زمین لغزش بزرگ سیمره است (Noormohamadi, 2006). اقلیم پهنه، نیمه‌خشک سرد است که بر اساس ایستگاه سینوپتیک دره شهر دمای متوسط منطقه ۲۱ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارش آن ۴۹۷ میلی‌متر است. مساحت پهنه‌ی خندقی مورد مطالعه ۵۹۸۸ هکتار، ارتفاع متوسط پهنه از سطح دریا ۴۲۷ متر و شیب متوسط ۱۲ درصد است (شکل ۱). منطقه‌ی مورد مطالعه در نقشه‌ی زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کبیر کوه واقع شده‌است. با استفاده از تطبیق نقشه‌ی زمین‌شناسی با تصاویر گوگل ارث^۱، میزان گسترش و درصد پوشش واحدهای سنگی و رسوبی به شرح جدول (۱) می‌باشد (Rostamizad, 2014).

¹ Google Earth

جدول ۱: میزان گسترش واحدهای سنگی و رسوبی مربوط به هر دوران و دوره‌ی زمین‌شناسی

زمان زمین‌شناسی		گسترش واحدهای سنگی و رسوبی			
دوران	دوره	علائم	خصوصیات سنگ‌شناسی	هکتار	درصد
سنوزوئیک	کواترنری	Qal	رسوبات آبرفتی امروزی	۴۸۲/۰۶	۸/۱۳
		Qt	پادگانه	۱۶۳۱/۹	۲۷/۵۴
		Lac	لایه‌های دریاچه‌ای نسبتاً جوان	۳۸۱۱/۹۵	۶۴/۳۳



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و استان ایلام

۳- مواد و روش

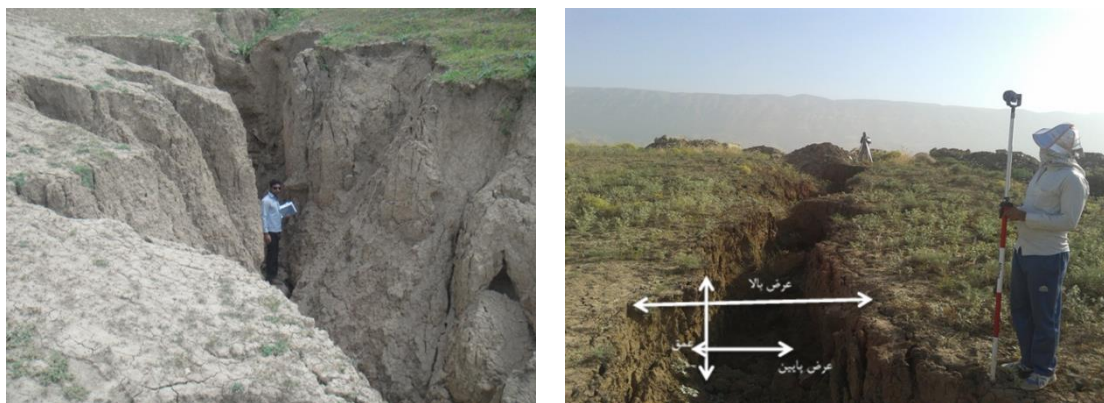
۳-۱- داده‌ها

آمار و اطلاعات پایه‌ی مورد نیاز شامل نقشه‌های پایه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان‌های جغرافیایی ارتش و سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور و نقشه‌ی منابع اراضی و خاک‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مؤسسه‌ی حفاظت آب و خاک می‌باشد. خصوصیات مربوط به هر یک از نقشه‌های پایه در نقاط آموزشی (تعلیمی) با استفاده از دستگاه GPS در کل منطقه‌ی تحقیق شامل سنگ‌شناسی، نوع تراکم پوشش با استفاده از پلات‌های استاندارد ارزیابی مراتع (۱*۱) متر و ترانسکت، کاربری اراضی و اندازه‌گیری شیب در محل نقاط تعلیمی با استفاده از شیب‌سنج انجام شد. به این

ترتیب، هر یک از موارد مذکور به صورت مستقیم از طریق اندازه‌گیری میدانی مشخص شد و در مرحله‌ی تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنها برای تعیین خصوصیات مکانی مناطق خندقی استفاده شد.

۳-۲- مواد و ابزارهای فیزیکی و مدل

اندازه‌گیری خصوصیات ژئومتری خندق‌ها شامل عمق، طول، عرض بالا و پایین، سطح مقطع و شیب‌جانبی از طریق نقشه‌برداری در عرصه با استفاده از دوربین نقشه‌برداری توتال در سه مقطع (رأس خندق، میانه و دهانه خروجی خندق) انجام شد (شکل ۲). سپس به کمک نرم‌افزار AutoCad و AutoCad Land Civil3D، مدل ابعادی هر یک از خندق‌ها در محیط نرم‌افزار، طراحی و مشخصات ژئومتری آنها استخراج شد. محدوده‌ی آبخیز هر خندق نیز از طریق عملیات میدانی (با استفاده از GPS)، نقشه‌ی توپوگرافی و عکس‌های هوایی به‌منظور تعیین مساحت بالادست هر خندق مشخص شد.



شکل ۲: بررسی‌های میدانی و نقشه‌برداری از خندق‌ها با استفاده از دوربین نقشه‌برداری برای استخراج مشخصات ژئومتری و توپوگرافی خندق‌ها

برای نمونه‌برداری و مشخص کردن فاکتورهای خاک‌شناسی در محل رأس (هدکت) هر یک از خندق‌ها، نمونه‌ای خاک از سطح تا کف هدکت به‌صورت ترکیبی تهیه شد (شکل ۳). نمونه‌های خاک پس از برداشت از صحرا در سایه خشک شد، سپس با چکشی چوبی کوبیده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری به آزمایشگاه منتقل شد. با انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، آنالیزهای مختلفی بر آنها صورت گرفت و به ترتیب بافت خاک به روش هیدرومتری بویکس و هدایت الکتریکی در عصاره‌ی گل اشباع با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی EC Meter Genwey مدل ۳۳۱۰ تعیین شد. اندازه‌گیری مقدار یون سدیم در عصاره‌ی اشباع خاک به روش فلایم فتومتر و اندازه‌گیری مقدار یون کلسیم و منیزیم در این عصاره به روش تیتراسیون برگشتی با ورسین و میزان نسبت جذب سدیم (SAR) محاسبه شد. همچنین تعیین اسیدیته خاک در گل اشباع به وسیله‌ی الکتروود شیشه به کمک دستگاه pH سنج مدل ۷۴۴ تعیین شد. مقدار آهک نمونه‌های خاک به روش کلسی-متری انجام گرفت و برای اندازه‌گیری مقدار گچ نمونه‌های خاک از روش حذف آب کریستالی استفاده شد. مقادیر مواد آلی نمونه‌های خاک نیز با استفاده از روش اکسیداسیون تر به‌دست آمد (Jafarigarzin, 2003 & Zarinkafsh, 1994).



شکل ۳: نمونه برداری خاک از بخش هدکت خندق

۳-۳- روش تجزیه و تحلیل آماری

رابطه‌ی بین گسترش طولی و حجمی خندق با خصوصیات زمین محیطی ذکر شده، براساس روش‌های تجزیه و تحلیل همبستگی ساده و چندگانه و مدل‌های رگرسیونی بررسی شد. برای بررسی رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS، از ضریب همبستگی پیرسون (چون داده‌ها پیوسته بوده) بین متغیرهای مستقل استفاده شد. ذکر این امر لازم است که برای این منظور نرمال بودن داده‌ها با استفاده از تست کلموگروف - اسمیرنوف بررسی شد که نشان داد داده‌ها نرمال بود (حدود اعتماد آنها بیش از ۰/۰۵) و ماتریکس همبستگی آنها به دست آمد.

۳-۳-۱- اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل ساخته شده، از اطلاعات خندق‌هایی استفاده شد که قبلاً در ساخت و توسعه‌ی مدل از داده‌ها و آمار و اطلاعات آن استفاده نشده و دارای شرایط محیطی مشابه منطقه بود. برای این منظور تعداد ۸ خندق در منطقه شناسایی و مدل ابداعی در آبخیز خندق‌های انتخاب شده اجرا شد. سپس خروجی آن با داده‌های واقعی (اندازه‌گیری شده در همان خندق) با استفاده از روش‌های آماری برای تعیین میزان عدم قطعیت محاسبه شد. برای اعتبارسنجی نیز از شاخص‌های عمومی اعتبارسنجی MRE^1 و $RMSE^2$ مطابق روابط (۱) و (۲) استفاده شد.

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{S_{ob} - S_{es}}{S_{ob}} \right| \right) * 100$$

رابطه‌ی ۱

¹ Mean Relative Error

² Root Mean Square Error

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum (S_{ob} - S_{es})^2 \right)^{1/2}$$

رابطه‌ی ۲

که در آنها MRE: میانگین خطای نسبی، RMSE: جذر میانگین توان دوم خطا، S_{ob} : مقدار مشاهده شده، S_{es} : مقدار محاسبه شده با استفاده از مدل و n : تعداد داده‌ها می‌باشد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

بعد از تهیه‌ی DEM منطقه با ابعاد پیکسل 10×10 متر، نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، جهت و انحنای دامنه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز با استفاده از نرم‌افزارهای Arc و ArcView GIS تهیه شد. پس از ارتوفتو و موزائیک کردن عکس‌های هوایی منطقه، تصویری با دقت مکانی 1×1 متر و خطای (RMSE) کمتر از یک پیکسل به دست آمد. با استفاده از این تصویر، نقشه‌ی دقیق پراکنش خندق‌ها و حوزه‌ی آبخیز آنها حاصل شد. اندازه‌گیری خصوصیات ژئومتری خندق‌ها نیز از طریق عملیات میدانی و با استفاده از روش‌های عنوان شده در مواد و روش‌ها انجام شد که شاخص‌های پراکندگی ۳۶ خندق به تفکیک در جدول (۲) ذکر شده‌است.

جدول ۲: شاخص‌های پراکندگی مشخصات ژئومتری و توپوگرافی خندق‌ها

S.Ap	Ap	CS	H	Wd	Wu	L	
۱۰/۳۱	۰/۹۸	۲	۱/۲۷	۰/۸۷	۲/۴۹	۲۷/۱۲	میانگین
۷/۳۹	۰/۶۵	۱/۴۶	۰/۶۸	۰/۴۶	۱/۱۵	۱۲/۵۴	انحراف معیار
۵۴/۶	۰/۴۳	۲/۱۲	۰/۴۶	۰/۲۱	۱/۳۳	۱۵۷/۳۲	واریانس
۲۸/۲۱	۲/۴۷	۶/۰۸	۲/۴۹	۱/۸۴	۴/۷۴	۵۲	دامنه تغییرات
۱/۴۸	۰/۰۹	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۸	حداقل
۲۹/۶۹	۲/۵۶	۶/۱۸	۲/۶۹	۲/۰۴	۵/۳۴	۶۰	حداکثر
۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۴۶	ضریب تغییرات

L: طول خندق (m)، Wu: عرض بالای خندق (متر)، Wd: عرض پایین خندق (متر)، H: عمق خندق (متر)، CS: سطح مقطع خندق (متر مربع)، Ap: مساحت بالادست خندق (مترمربع)، S.Ap: شیب سطح بالادست خندق (درصد).

برای شناخت فاکتورهای خاک‌شناسی در محل رأس (هدکت) هر یک از خندق‌ها، یک نمونه خاک (نمونه ترکیبی از سطح تا کف خندق) تهیه و در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران تجزیه و تحلیل شد. شاخص‌های پراکندگی نتایج آزمایشگاهی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک ۳۶ خندق، به تفکیک در جدول (۳) آورده شده‌است.

جدول ۳: شاخص های پراکنندگی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک به تفکیک در خندقها

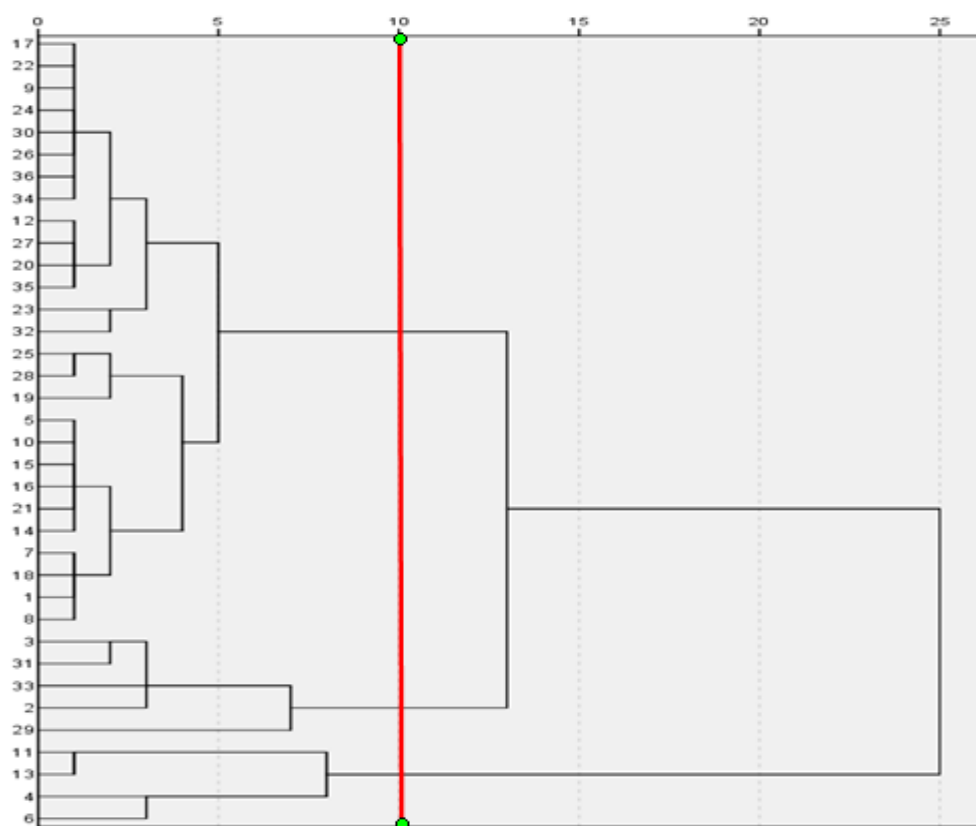
SAR	Na	Ca+Mg	PH	EC	Lim	Gyps	OM	Clay	Silt	Sand	
۰/۷۶	۱/۲۶	۵/۴۷	۷/۸۸	۰/۸۲	۳۳/۵۰	۰/۰۴	۰/۷۸	۴۷/۳۲	۳۵/۰۵	۱۵/۲۵	میانگین
۰/۳۴	۰/۶۵	۲/۵۳	۰/۱۳	۰/۶۲	۳/۸۱	۰/۰۰۱	۰/۲	۱۲/۵۸	۱۰/۰۴	۶/۲۶	انحراف معیار
۰/۱۲	۰/۴۳	۶/۳۸	۰/۰۲	۰/۳۹	۱۴/۴۹	۰/۰۰۳	۰/۰۴	۱۵۸/۳	۱۰۰/۹	۳۹/۲۱	واریانس
۱/۲۵	۲/۳۲	۸/۷۴	۰/۴۶	۱/۹۲	۱۴/۸۶	۰/۰۰۲	۰/۷۹	۵۷/۵۵	۴۱	۲۴/۵۳	دامنه تغییرات
۰/۲۶	۰/۴۳	۲/۱۹	۷/۶۳	۰/۲۶	۲۷/۵	۰/۰۴۱	۰/۳۶	۱۷/۱۴	۱۳	۱/۵	حداقل
۱/۵	۲/۷۵	۱۰/۹۳	۸/۰۹	۲/۱۹	۴۲/۳۶	۰/۰۴۳	۱/۱۵	۷۴/۶۹	۵۴	۲۶/۰۳	حداکثر
۰/۴۵	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۷۶	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۴۱	ضریب تغییرات

Sand: درصد شن خاک، Silt: درصد سیلت خاک، clay: درصد رس خاک، Lim: درصد آهک خاک، OM: درصد مواد آلی خاک، Gyps: درصد گچ خاک، EC: هدایت الکتریکی (میلی موس بر سانتی متر)، pH: اسیدیته خاک، Na⁺: مقدار سدیم محلول (میلی اکی والان بر لیتر)، Ca⁺⁺⁺ Mg⁺⁺: (میلی اکی والان بر لیتر)، SAR: نسبت جذب سدیم.

نتایج حاصل از جدول (۳) نشان داد که بافت خاک خندقهای مورد مطالعه غالباً رسی، رسی - سیلتی و سیلتی لومی است که به طور کلی رس و سیلت در همه ی خندقها غالب هستند؛ به نحوی که در تطبیق نتایج آزمایش های خاک شناسی با برداشت های صحرایی چنین نتیجه گرفته شد که یکی از عوامل پیشرفت سـر خندقها وجود سیلت در لایه های B یا در افق های میانی خاک است. در حقیقت، حساسیت سازندها که از عوامل مهم ایجاد خندقها محسوب می شود، از این موضوع حاصل می شود. این نتایج با نتیجه ی تحقیقات Rostamizad (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵)، Davoodi and Ghodousi (2010)، Shadfar et al (2007) و Khazaei (2012)، مبنی بر نقش تعیین کننده ی بافت خاک در ایجاد خندق و رسوب زایی بیشتر خندقها در بافت خاک سیلتی هم خوانی دارد. همچنین نتایج نشان داد که پیشروی در محدوده ی سرخندقها غالباً به صورت حفره های صورت گرفته است؛ به نحوی که خندق از ناحیه ی افق های میانی تا زیری انحلال می یابد و ریزش می کند. سپس سطح بالایی خندق نیز یک مرتبه فرو می ریزد و باعث پیشروی آن می شود. این موضوع، وجود لایه های سست و املاح یا عناصر انحلال پذیر را در این بخش از خاک نشان می دهد که البته این عمل با حضور مستمر آب صورت می گیرد. مشاهدات صحرایی^۱ پیرامون وضعیت شکل سر خندقها - که به صورت غار مانند درآمده اند - بیانگر وضعیت لایه های میانی خاک نیز است که در افق B خاک، دانه بندی سستی دارد و میزان املاح محلول در خاک در این بخش نیز به صورت زیادتر مشاهده می شود. این نتایج با یافته های and RIES ALVES (2005) Rodrigues (2005)، Rostamizad (2019)، Ghodousi (2003)، Ghodousi and Davoodi (2005) مطابقت دارد.

پیش از اجرای محاسبات و تجزیه و تحلیل های آماری، بایستی خندقها از نظر ویژگی های توپوگرافیک (مساحت و شیب بالادست خندق) گروه بندی شود تا بزرگ ترین گروه که بیشترین تعداد خندق را از نظر

سطح همانندی در بر می‌گیرد، انتخاب شود. بدین منظور، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و روش رابطی بین گروه‌ها به دسته‌بندی خندق‌ها پرداخته شد. بر اساس آن و در فاصله‌ی اقلیدسی ۱۰ یا سطح همانندی (شباهت) بیش از ۸۰ درصد، خندق‌ها در سه گروه قرار گرفتند که بیش از ۷۵ درصد آنها در گروه بزرگ‌تر قرار داشت. بنابراین برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از گروهی استفاده شد که شامل بیشترین تعداد خندق بود (شکل ۴).



شکل ۴: گروه‌بندی خندق‌ها با استفاده از تحلیل خوشه‌ای

بعد از گروه‌بندی خندق‌ها، رابطی بین ویژگی‌های خاک با خصوصیات ژئومتری خندق‌ها شامل عمق، طول، عرض بالا و پایین و سطح مقطع، با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چندگانه بررسی شد. برای بررسی رابطی بین متغیرهای وابسته و مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۲ و محاسبه‌ی ضریب همبستگی پیرسون (چون داده‌ها پیوسته بوده)، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از تست کلموگروف - اسمیرنوف بررسی شد. سپس با استفاده از رگرسیون چندگانه (روش توأم)، رابطی متغیرهای مستقل (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) با متغیرهای وابسته طول خندق (جدول ۴) و سطح مقطع خندق (جدول ۵) تعیین شد. از این طریق، میزان تأثیر این پارامترها بر خصوصیات ژئومتری خندق‌ها مشخص شد. نتایج همبستگی بین متغیرها در جدول (۶) نشان داده شده‌است.

جدول ۴: نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره گسترش طولی خندق ها با ویژگی های خاک

Sig.	t	ضرایب غیراستاندارد			مدل		
		Std. Error	B		R ²	R	متغیر
۰/۰۶۴	-۱/۹۹	۳۰۷/۵۰	-۶۱۲/۲۲	(C)			
۰/۱۲۵	۱/۶۲	۰/۴۰	۰/۶۴۷	Sand			
۰/۸۸۱	۰/۱۵۳	۰/۴۶	۰/۰۷۰	Silt			
۰/۳۴۷	-۰/۹۶۹	۶/۳۵	-۶/۱۶	OM			
۰/۰۴۹	۲/۱۳	۶۹۷۸/۰۵۴	۱۴۸۹۲/۵۲	Gyps			
۰/۰۸۳	-۱/۸۵	۰/۸۸۳	-۱/۶۳	Lim	۰/۵۳۳	۰/۷۳۰	L
۰/۵۵۱	۰/۶۱	۵/۶۲	۳/۴۳	EC			
۰/۰۸۵	۱/۸۴	۶/۴۰	۱۱/۷۵	PH			
۰/۱۱۵	-۱/۶۶	۱/۵۷	-۲/۶۱	Ca+Mg			
۰/۷۳۴	۰/۳۴۷	۱۱/۴۴	۳/۹۵	Na			
۰/۵۹۳	۰/۵۴۵	۱۳/۸۶	۷/۵۵	SAR			

a. Dependent Variable: L

جدول ۵: نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره گسترش سطح مقطع خندق با ویژگی های خاک

Sig.	T	ضرایب غیراستاندارد			مدل		
		Std. Error	B		R ²	R	متغیر
۰/۰۲۴	۲/۴۹	۳۷/۳۲	۹۲/۸۶	(C)			
۰/۵۵۷	۰/۶۰	۰/۰۵	۰/۰۳	Sand			
۰/۱۷۳	۱/۴۳	۰/۰۶	۰/۰۸	Silt			
۰/۹۰۱	-۰/۱۳	۰/۷۷	-۰/۰۹۷	OM			
۰/۰۲۶	۲/۴۵	۸۴۶/۸۸	۲۰۷۴/۲۳	Gyps			
۰/۶۷۴	-۰/۴۳	۰/۱۰۷	-۰/۰۴۶	Lim	۰/۵۲۳	۰/۷۲۳	CS
۰/۱۹	۱/۳۷	۰/۶۸	۰/۹۳۳	EC			
۰/۴۴۲	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۶۱۱	PH			
۰/۰۷۷	-۱/۸۹	۰/۱۹	-۰/۳۶	Ca+Mg			
۰/۰۵۵	۲/۰۷	۱/۳۹	۲/۸۷	Na			
۰/۰۶	۲/۰۳	۱/۶۸	۳/۴۱	SAR			

a. Dependent Variable: CS

جدول ۶: نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی متغیرهای وابسته و مستقل در خندق‌های مورد مطالعه (۳۶ خندق)

L	Wu	Wd	H	CS	Hh	Sand	Silt	Clay	OM	Gyps	Lim	EC	PH	Ca+Mg	Na	SAR
L	.072	.076	.092	.037	-.113	.073	.142	.076	-.210	-.212	-.095	.046	.315	-.222	.218	.191
Wu	1	.733**	.821**	.877**	.581**	.027	.368*	.280	-.131	-.416*	-.177	.167	.317	-.072	.102	.082
Wd		1	.639**	.797**	.276	.114	.402*	.262	-.207	-.429*	-.106	.183	.459**	-.100	.000	.022
H			1	.843**	.651**	.077	.424*	.299	-.096	-.272	-.316	.199	.095	-.102	.024	.058
CS				1	.608**	.022	.380*	.292	-.011	-.401*	-.176	.154	.316	-.102	.111	.071
Hh					1	.192	.239	.091	-.091	-.105	-.166	.048	.114	-.038	.124	.107
Sand						1	.107	-.606**	.253	-.253	.111	.026	-.038	.096	.135	.113
Silt							1	-.856**	.143	.110	.196	-.028	-.244	.246	.220	.210
Clay								1	-.246	.043	-.214	.009	.215	-.246	-.246	-.227
OM									1	.048	.225	-.051	-.044	.162	-.025	-.008
Gyps										1	-.116	-.057	-.491**	.166	-.035	-.053
Lim											1	-.185	.109	.046	-.170	-.132
EC												1	.197	-.002	.465**	.407*
PH													1	-.186	-.127	-.086
CaMg														1	-.180	-.327
Na															1	.979**
SAR																1

L: طول خندق (متر)، Wu: عرض بالایی خندق (متر)، Wd: عرض پایین خندق (متر)، H: عمق خندق (متر)، Hh: ارتفاع پیشانی خندق (متر)، CS: سطح مقطع (مترمربع)، Sand: درصد شن خاک، Silt: درصد سیلت خاک، Clay: در رس خاک، Lim: درصد آهک خاک، OM: درصد مواد آلی خاک، Gyps: درصد گچ خاک، EC: هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)، pH: اسیدیته خاک، Na: مقدار سدیم محلول (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)، Ca+Mg: (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)، SAR: نسبت جذب سدیم.

رابطه‌ی ویژگی‌های خاک با خصوصیات ژئومتری خندق‌ها شامل عمق، طول، عرض بالا و پایین و سطح مقطع، بر اساس روش‌های تجزیه و تحلیل همبستگی چندگانه و مدل‌های رگرسیونی بررسی شد. با توجه به جدول‌های (۴) و (۵)، مدل گسترش طولی، گسترش سطح مقطع خندق و ضریب تأثیرگذاری هر یک از پارامترهای خاک به صورت روابط (۳) و (۴) ارائه می‌شود.

رابطه‌ی ۳

$$L = 0.647(\text{Sand}) + 0.07(\text{Silt}) - 6.16(\text{OM}) + 14892.52(\text{Gyps}) - 1.634(\text{lim}) + 3.427(\text{Ec}) + 11.75(\text{PH}) - 2.61(\text{Ca,Mg}) + 3.95(\text{Na}) + 7.55(\text{SAR}) - 612.22$$

رابطه‌ی ۴

$$CS = 0.29(\text{Sand}) + 0.08(\text{Silt}) - 0.097(\text{OM}) + 2074.22(\text{Gyps}) - 0.046(\text{lim}) + 0.933(\text{Ec}) + 0.61(\text{PH}) - 0.36(\text{Ca,Mg}) + 2.87(\text{Na}) + 3.41(\text{SAR}) + 92.86$$

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل همبستگی بین مشخصات ژئومتری خندق و عوامل خاک نشان داد که همبستگی بین گسترش طولی و عرض خندق با مقدار سدیم محلول خاک مثبت بوده است که این نتیجه با یافته‌های پژوهشی اجرا شده توسط Khojeh (2012)، Ghodousi (2003) و Poesen (2003) همخوانی دارد. علت این امر، آزاد شدن سدیم در جایگزین شدن آن با کلسیم یا پتاسیم و افزایش انتشارپذیری ذرات خاک می‌باشد. همبستگی بین گسترش خندق‌ها با هدایت الکتریکی - که بیان‌کننده و نماد مقدار املاح محلول موجود در خاک است - نیز مثبت بوده است؛ به طوری که با افزایش املاح محلول در خاک طول خندق‌ها نیز افزایش می‌یابد. فراهم شدن شرایط برای شکل‌گیری و گسترش فرسایش تونلی و فروریزی (انحلالی) سقف دهلیزها یا دالان‌های تشکیل شده در اثر رشد افقی فرسایش تونلی و شکل‌گیری فرسایش خندقی با بریدگی‌های عمودی در رأس یا پیشانی خندق‌ها دلیل این موضوع است. یافته‌ی مذکور نیز با یافته‌های Ebrahimi (2018)، Bull (2002) و Ghodousi (2003) مطابقت دارد. به عبارت دیگر، عامل هدایت الکتریکی از عوامل اصلی و تعیین‌کننده در فراهم بودن شرایط یا حساسیت اراضی به فرسایش خندقی و رشد و گسترش آن است.

هوموس و مواد آلی حاصل از بقایای گیاهی نیز مانع فرسایش خاک می‌شود. همبستگی منفی گسترش طولی و عرضی خندق با ماده آلی نیز توسط Duiker et al (2001) تأیید شده است. افزایش مقدار ماده آلی در خاک مانع از فروپاشی خاکدانه‌ها شده است؛ به طوری که در یک خاک معین با افزایش قابل توجه مواد آلی نرخ فروپاشی خاکدانه‌ها به یک سوم کاهش می‌یابد. خاک هوموس دار با نگهداری مقدار زیادی از آب بارندگی‌ها در خود نه تنها مانع جاری شدن آب بر سطح زمین می‌شود، بلکه درصد قابل توجهی از آن را در عمق مناسب در دسترس ریشه‌ی گیاهان قرار می‌دهد. این نتایج با مطالعات انجام شده توسط Farid Giglou and Ghazavi (2018)، Battani and Grismer (2000)، Duiker et al (2001) و Zangiabadi et al (2010) مطابق است.

رابطه‌ی بین مقدار pH و گسترش خندق مثبت بوده و بر مقدار خاک تلف شده از طریق خندق تأثیرگذار است؛ وقتی pH افزایش می‌یابد، از درصد آلومینیوم اشباع کم می‌شود و کاتیون‌های بازی افزایش می‌یابد و در خاک‌های با هدایت الکتریکی پایین به پراکندگی ذرات خاک منجر می‌شود. مقدار زیاد pH نیز با در اختیار نهادن یا نهادن بعضی

مواد در اختیار گیاه، بر پوشش گیاهی تأثیرگذار است و زیادی آن باعث از بین رفتن پوشش گیاهی می‌شود. این نتایج با یافته‌های (2006) Dongsheng et al و (2010) Saeidiyan and Moradi مطابق است.

رابطه بین گسترش طولی و سطح مقطع خندق با مقدار کلسیم و منیزیم، آهک و گچ نیز منفی بوده است و نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر این پارامترها، تغییرات ابعاد خندق کاهش می‌یابد؛ چون برخلاف سدیم به فولکوله شدن، پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک منجر می‌شود. در نتیجه بهبود ساختمان خاک به افزایش مقاومت آن در مقابل تنش برشی رواناب حاصل از بارندگی‌ها و افزایش نفوذپذیری خاک می‌انجامد. این نتایج با یافته‌های (1985) Bajwa and Sadana و (2010) Roosta et al، (2009) Evazade-Tavakoli، (2019) Rostamizad مطابقت دارد.

نتایج اعتبارسنجی مدل‌های مشخصات ژئومتری خندق با استفاده از شاخص‌های آماری (RMSE و MRE) به تفکیک محاسبه شد (جدول ۷). با توجه به مقادیر خیلی کم RMSE برای هر دو مدل، می‌توان گفت که مدل‌های ارائه شده از اعتبار بالایی برخوردار هستند و می‌توان از آنها برای مناطق با شرایط مشابه منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده کرد.

جدول ۷: نتایج اعتبارسنجی مدل‌های مشخصات ژئومتری خندق در خندق‌های مورد آزمون

ردیف	مدل	آماره MRE	آماره RMSE
۱	طول	۱۲/۳۰	۰/۱
۲	سطح مقطع	۱۰/۶۷	۰/۰۷

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت و نقش فرسایش خندقی در میزان هدر رفت خاک به‌ویژه در منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل وجود اراضی حاصلخیز کشاورزی با پتانسیل بالای تولید و نزدیکی این اراضی به مناطق شهری شهرستان دره شهر، این پژوهش با هدف مشخص کردن عوامل خاکی مؤثر در گسترش خصوصیات ژئومتری فرسایش خندقی انجام شد. بنابراین با توجه به یافته‌های این تحقیق مشخص شد که:

۱- بر اساس مدل مفهومی گسترش طول خندق، میزان شوری، درصد سدیم قابل جذب و سدیم محلول بیشترین ضریب تأثیر و بیشترین نقش را در گسترش خندق داشته‌است. حال آن که میزان مواد آلی و مجموع کلسیم و منیزیم چون نقش چسبندگی و فولکوله کردن خاک را برعهده داشتند، مانع از گسترش خندق شدند.

۲- بر اساس مدل گسترش سطح مقطع، نسبت سدیم قابل جذب و سدیم تبدلی بیشترین ضریب تأثیر را در افزایش سطح مقطع داشته‌است. حال آن که میزان گچ و مجموع کلسیم و منیزیم بیشترین نقش را در جهت مهار و جلوگیری از گسترش ابعاد خندق ایفا می‌کند.

۳- بافت خاک به‌خصوص بافت سیلتی، در ایجاد خندق و رسوب‌زایی آنها نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. پیشروی در محدوده‌ی سرخندق‌ها غالباً به‌صورت حفره‌هایی صورت می‌گیرد؛ به طوری که خندق از ناحیه‌ی افق‌های میانی تا زیری انحلال می‌یابد و ریزش می‌کند. سطح بالایی خندق نیز یک مرتبه فرو می‌ریزد و باعث پیشروی آن می‌شود.

۴- در مدل‌های گسترش طولی خندق و گسترش سطح مقطع، مقادیر میانگین خطای نسبی و جذر میانگین توان دوم خطا به ترتیب کمتر از ۱۳٪ و ۱٪ است. این امر نشان می‌دهد که این مدل‌ها از اعتبار خوبی برخوردار هستند و از آنها می‌توان برای پیش‌بینی میزان تغییرات ابعاد خندق برای مناطقی با شرایط مشابه منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده کرد.

منابع

1. Ahmadi, M., 2011. Analysis factors affecting the formation and expansion of Gully erosion (Case Study: Mesquite Plains Lamerd Basin, Gulf). M.Sc. Thesis, faculty of Geography, Tehran University, 113 P. (in Persian)
2. Battani, M. C., & M. E. Grismer, (2000). Rainfall Runoff and erosion in Napa Vally vineyards: effect of slope, cover and roughness. *Hydrological processes*. 14(7), 1289-1304.
3. Bayati Khatibi, M.; Rajabi, M.; & F. Kamari, 2011. Investigation of topographic thresholds and analyzing role of surface materials on gully development in the hillslope of semi-arid areas, case study: Shoorchay, *Geography and Environmental Planning Journal*, 22(1), 15-34. (in Persian).
4. Bull, I. J., & M. J. Kirkby., (2002). Channel heads extension. in *Druland Rivers Hydrology and geomorphology of semiarid channel*. Wiley chinchester, UK. 84 pp.
5. Dongsheng, Y.; Xuezheng, S.; & D. C. Wendorff, 2006. Relationships in Subtropical China, *Soil Science Society of China*, 16(3), 304-311.
6. Duiker, S. W.; Flanagan, D. C.; & R. Lal, 2001. Erodibility and Infiltration Characteristics of Five Major Soils of Southwest Spain, *Catena*, 45(2), 103-121.
7. Ebrahimi, M., 2018. Identification of causes of gully erosion with emphasis on soil properties (A case study of Agham watershed), *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 7(2), 1-14. (in Persian).
8. Ekwe, E. I., 1991. The Effects of Soil Organic Matter Content, Rainfall Duration and Aggregate Size on Soil Detachment, *Soil Technology*, 4, 197-207.
9. Evans, M., & J. Lindsay., (2010). High resolution quantification of gully erosion in upland peat lands at the landscape scale. *Earth Surface Processes and Landforms*. 35(8), 876-886.
10. Evaz-zadeh Tavakoli, F., 2009. Estimates of the Gully length extension using the model (Case study: Bushehr Province). MSc Thesis, Faculty of Natural Resources, Tehran University. 112P. (In Persian).
11. Farajzadeh, M.; Afzali, A.; Khalili, Y.; & A. Ghalichi, 2012. Gully erosion sensitivity evaluation by using multivariate regression model (Case study: South East province; Kiasar), *Journal of environmental degradation*, 2(6), 42-57. (In Persian).
12. Farid Giglou, B., & R. Ghazavi., (2018). The Role of Physicochemical Characteristics of Gully Soil and Environmental Factors of its Upper-Catchment Area in the Expansion of Gully Erosion, *JWSS*, 22(3), 273-286. (in Persian)
13. Ghodousi, J., & M. Davari., (2005). Investigate the effect of physical and chemical properties of soils in Gully erosion occurrence. 3th National Conference on Erosion and Sedimentation. 8pp. (In Persian).
14. Ghodousi, J., 2003. Modeling of gully erosion morphology and hazard zonation its. Ph.D. Thesis, Department of Natural Resources, Tehran University. 450pp. (In Persian).
15. Jafari Garzin, M., 2003. Methods of Soil Analysis, Sampling and Important Physical and Chemical Analysis with Emphasis on Theoretical and Practical Principles, Zahi Publications, 236 p. (In Persian)
16. Keller Edward, A., 2011. Environmental Geology, University of California, Pearson, ISBN-13: 978-0-321-64375-9.

17. Khazayi, M.; Shafiee, A.; & A. S. Mullaei, 2012. Evaluation of the factors influencing in the development of gully erosion in the watershed Maron, *Journal of Soil Research*, 26(2), 164-153. (In Persian).
18. Khojeh, N.; Ghogousi, J.; & R. Ismaili, 2012. Investigate the relationship between physical and chemical properties of soil and gully erosion development in the Tamar Basin Qarequzi, Golestan province, *Journal of Watershed Management*, 3(5), 40-27. (In Persian).
19. Moradi, H. R., & H. Saeidian., (2011). Evaluation of some soil characteristics and landuse on the Gachsaran formation using multivariate regression. *Watershed Research*. 90, 86-77. (In Persian).
20. Nazari Samani, A. A.; Ahmadi, H.; Jafari, M.; & J. Ghodoosi, 2009. Investigation of factors affecting sediment yield from gully erosion in small watersheds, case study: Dareh Kareh watershed, Boushehr, *Journal of Physical Geographgy Research Quarterly*, 69, 19-34. (In Persian).
21. NoorMohamadi, F., 2006. Allometry and sediment production of DarrehShahr Gullies in the part of Ilam province, MSc thesis, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, 95 Page (In Persian).
22. Poesen, J.; Nachtergaele, J.; Verstracten, G.; & C. Volentin, 2003. Gully erosion and environmental change: Importance and research needs, *Catena*, 50, 91-133.
23. Rahnema Rad, j.; Khosravi, F.; & S. RigiNejad, 2010. Chemical specifications of soil for creation and development of gully in the Dashtyari region, Chabahar, *Journal of Applied Geology*, 6(1), 9-16. Pages (In Persian).
24. Ries Alves, R., & S. C. Rodrigues, (2005). Gully's Monitoring- morphometric and sediments study at Brazil's Savana. *J. Sociedade and Natureza*, Uberlandia. 295-304.
25. Roosta, D. J.; Enayati, K. A.; & A. Vakili, 2010. Survey effective of individually and combined organic and inorganic substances on the size of aggregates in a saline and sodic soil with silt loam texture, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 15(56), 169-179. (In Persian).
26. Rostamizad, Gh.; Salajegheh, A.; Nazari Samani, A. A.; & J. Ghodousi, 2019. Modeling Geometrical Characteristics of Gutter Erosion (Case Study: Ilam Province), *Rangeland and Watershed Management*, 71(4), 915-928. (In Persian).
27. Rostamizad, Gh.; Salajegheh, A.; Nazari Samani, A. A.; & J. Ghodousi, 2015. Determine an affecting factors on gully head advancement and forecasts its development, *Researches Geomorphology*, 4(1), 58- 46. (In Persian).
28. Rostamizad, Gh.; Salajegheh, A.; Nazari Samani, A. A.; & J. Ghodousi, 2015. Determining of effective factors on the geometric characteristics of gully erosion, *Environmental Erosion Research*, 4(13), 61-50. (In Persian).
29. Sadana, U. S., & M. S. Bajwa, (1985). Manganese equilibrium in submerged sodic soils as in fluenced by application of gypsum and green manuring, *J. Agric. Sci. Cambridge*, 104, 257-261.
30. Shadfar, S., & S. H. SobheZahedi., (2007). Investigate the cause's development of Gully erosion in watershed Aliabad Gilan province. 4th Conference Science and Engineering of Watershed, faculty of Natural Resources, Tehran University. 8 (In Persian).
31. Zarrinkafsh, M., 1994. Applied Soil Science, University of Tehran Publications, 236 p. (In Persian)
32. Zhou, P., 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed, *Catena*, 75, 319-325.

Impact assessment of soil Physio-chemical properties on the development of the gully erosion

Ghobad Rostamizade¹: Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran

Zahra Khanbabaei: PhD in Geomorphology and Secretary of Education of Zanjan province

Article History (Received: 2019/08/06

Accepted: 2020/02/09)

Extended abstract

1. Introduction

Water erosion has been a problem worldwide, which causes the phenomenon of land degradation in semi-humid areas of dry land. The risk of soil erosion in arid and semiarid areas, especially in mountain ranges is of significant cases in land use planning. Soil erosion in these areas is one of the important consequences of climate change, or in general, the obvious impacts of environmental and ecological changes. The erosion implications include soil loss, sediment deposition in reservoirs, and vegetation loss, and vegetation cover. Among the different cases of water erosion, gully erosion is one of the most important factors affecting soil destruction, land aspect change, and degradation of water resources and land setbacks. Due to the importance and role of gully erosion inland waste and land depletion, especially in the study area due to the existence of fertile agricultural land with high potential production and proximity of these lands to urban areas in Darrehshahr county, the aim of this study is identifying effective soil factors in the development of gully geometry characteristics and their prediction. Identifying effective factors in the development of this process can be an approach for helping managers and authorities to control and prevent the development of gully erosion.

2. Methodology

There are many gully areas in the province of Ilam, where the study of Darrehshahr has been investigated. It is located in the Darrehshahr county and the eastern city of Ilam in the geographic range between 47° 30' 8" to 47° 46' 03" longitude and 33° 12' 14" to 33° 23' 03" latitude. Geological formation is composed of the sediments of the lake, which is caused by the landslide. It is a cold semi-arid climate that is based on synoptic stations at an average temperature of 21 C° and the average precipitation in the region is 497 mm. The basic data and statistics required are topographic maps of scale 1: 25,000 military organizations and the country's mapping organization, on a scale 1: 100,000 geological maps of the country, map of soil and land resources on a scale of 1: 25,000 of the institute for water conservation and soil. The measurement of gully geometric properties, including depth, length, high and low level, cross-sectional area, lateral slope, was done by surveying in the field using the Total survey camera at three cross-sections (head cut, median and outlet) of the gully. Then the region was divided into 12 work units, and in each case, three replicates were selected, and finally, 36 gullies were selected in the study area. The geometrical features of the gully using aerial photographs, digital maps and field operations, and physical-chemical properties of soil were determined using laboratory methods. To determine the impact of these factors on each of the geometric characteristics of the gully and the relationship between the dependent and independent variables was obtained using multivariate regression.

3- Results

After grouping the gullies, the relationship of soil properties with geometry properties, including depth, length, Up and down width, was investigated based on the methods of correlation analysis and multiple regression models. The results showed that EC (3.43), SAR (7.55) and Na⁺ (3.95) have the highest impact factor and the most important role in the development of the gully. Whereas the amount of organic matter and total of Ca⁺⁺Mg⁺⁺, will be the role of adherence to the soil and prevent gully development. Also, based on the cross-section development model, the amount SAR (3.41), Na⁺ (2.87), and the Gypsum (2074) has the highest

¹ Corresponding Author: Rostamizad60@Gmail.com

impact factor in the increasing cross-section of the gully. But the amount of total of Ca^{++} and Mg^{++} (-0.36) and OM (-0.097), playing the most important role in the control and prevention of the gully development. The validation of the geometric characteristics of the gullies using statistical indexes (MRE and RMSE) was calculated. Due to very low RMSE values for both models, we can say that the proposed models are highly valid and can be used for regions with similar conditions of the study area.

4- Discussion & Conclusions

Due to the importance and role of gully erosion in soil loss, especially in the case study area, this study aimed to identify effective soil factors in the development of protective gully characteristics. Therefore, according to the findings of this study, it was found that:

- Based on the conceptual model of extension of gully length, the amount of EC, SAR, and Na^+ have the highest impact and the most important role in the development of the gully. Conversely amount of organic matter and total of $\text{Ca}^{++}\text{Mg}^{++}$, will be the role of adherence to the soil and prevent gully development.
- Based on the cross-section development model, the amount SAR and the Na^+ have the highest impact in the increasing cross-section of the gully. But the amount of gypsum and total of Ca^{++} and Mg^{++} playing the most important role in the control and prevention of the gully development.
- Soil texture, especially silty texture, plays a more effective role in gulling and sedimentation of gullies.

Key Words: Aerial Photo, Geometric Characteristics, Gully Erosion, Multiple Regression, Soil Physio-Chemical Characteristics.