

بررسی ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک

مرضیه مکرّم* - استادیار گروه مرتع و آبخیز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب.
علیرضا محمودی - مربی گروه مرتع و آبخیز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴

چکیده

مهم‌ترین عامل بررسی مناطق خندقی وقوع فرسایش و تخریب زیاد خاک است. با توجه به اهمیت بررسی خندق‌ها هدف از این مطالعه بررسی خندق‌های واقع در جنوب شهرستان فسا و شمال شهرستان داراب می‌باشد. خندق‌های واقع در این دو منطقه از نظر ابعاد با یکدیگر متفاوت هستند به طوری که خندق‌های واقع در جنوب شهرستان فسا دارای ابعاد بزرگ‌تری در مقایسه با خندق‌های واقع در شمال شهرستان داراب می‌باشند. برای این منظور ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها که شامل طول، عرض، عمق و ارتفاع می‌باشد اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین ویژگی مورفومتری خندق و ویژگی‌های خاک پارامترهای سدیم، پتاسیم، منبذیم، روی، کلسیم، آهن، منگنز، کربن آلی و بیکربنات اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که حجم خندق با عمق خندق ارتباط مستقیم و با میزان مواد آلی رابطه معکوس دارد. بنابراین با کاهش میزان مواد آلی در خاک فرسایش آبی در منطقه افزایش می‌یابد و زمینه برای فرسایش خندقی که پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین نوع فرسایش آبی است، فراهم می‌شود.

واژگان کلیدی: مورفومتری، خندق، ویژگی‌های خاک، رگرسیون خطی.

مقدمه

فرسایش خندقی از اشکال پیشرفته و حاد فرسایش آبی است که دلالت بر هدر رفت حجم عظیمی از خاک اراضی دارد. بر اساس این مطالعات مناسب‌ترین راهبردهای کلان جهت پیش‌گیری از رخداد فرسایش خندقی و گسترش آن در منطقه تحقیق و مناطق مشابه آن، جلوگیری از تمرکز رواناب‌های سطحی همراه با اصلاح کاربری اراضی و مدیریت پوشش گیاهی از طریق ایجاد تعادل بین ظرفیت تولید گیاهی با برداشت آن توسط چرای احشام و جلوگیری از قطع اشجار و بوته کنی در منطقه است (نظری سامانی، ۱۳۹۳: ۲).

مطالعه فرسایش خندقی به دلیل تولید رسوب و خسارت‌های زیاد که در نتیجه فعالیت‌های انسان مانند تخریب اراضی و جاده‌سازی وارد می‌کند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. نظری و همکاران (۱۳۹۳: ۱) با بررسی اشکال فرسایش سطحی، شیاری، آبراهه‌ای و خندقی در نهشته‌های مارنی نئوژن منطقه حسن‌آباد قم به روش آزمون تحلیل واریانس به این نتیجه رسیدند که بین درصد آهک، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد سدیم قابل تبادل در فرسایش سطحی با سایر اشکال فرسایش ارتباط معنی‌دار وجود دارد.

زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهش خود در استان هرمزگان با اندازه‌گیری خصوصیات مرفومتريک خندق‌ها و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به این نتیجه رسیدند که رابطه مستقیمی بین رخداد شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها، با میزان املاح موجود در خاک، تمرکز رواناب‌های سطحی، خصوصیات افقی‌های خاک، شدت بارندگی و تراکم پوشش گیاهی وجود دارد. در واقع سازندهای زمین‌شناسی، نوع خاک، درصد شیب و کاربری اراضی از عوامل اصلی در رشد خندق‌ها به شمار می‌روند. نکویی مهر و امامی (۱۳۸۶) ویژگی‌های شکل‌شناسی خندق‌ها در استان چهارمحال بختیاری پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش طول و عرض خندق‌ها میزان فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد که تأثیر زیادی در طبقه‌بندی خندق‌ها دارد.

مطالعات خندق‌ها توسط ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) نشان‌دهنده این موضوع است که شکل‌گیری و شدت گسترش فرسایش خندقی در اراضی لسی، تابعی از ارتفاع متوسط، بارندگی و دمای متوسط سالانه هوا، شیب و جهت اراضی، سازند زمین‌شناسی، منابع اراضی، نوع خاک و ویژگی‌های مربوط به آن، نوع و تیپ پوشش گیاهی، نحوه استفاده از اراضی و متوسط سالانه ارتفاع رواناب‌های سطحی می‌باشد.

مقصودی و همکاران (۱۳۹۰) طی پژوهشی که در مورد پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه زواریان استان قم انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که سنگ‌شناسی، شیب، منابع و قابلیت اراضی، جهت شیب و کاربری اراضی عوامل اصلی مؤثر در وقوع فرسایش خندقی هستند. فرج زاده و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی که در مورد ارزیابی میزان حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که بیشترین سهم از نظر حساسیت به خندقی شدن به ترتیب به فاکتورهای لیتولوژی، خاک، شاخص رطوبت، توپوگرافی و کاربری زمین اختصاص دارد. اسماعیل نژاد و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی خاک بر مورفولوژی آبکندها در اراضی مارنی جنوب استان گلستان را بررسی کردند و گزارش نمودند که شکل‌گیری و ایجاد انواع شبکه آبکندها، تابعی از مقدار رس خاک، نوع رس‌ها، میزان سدیم محلول و تبدالی می‌باشد.

خوجه و همکاران (۱۳۹۱) ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و گسترش فرسایش خندقی در استان گلستان بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار سیلت، املاح محلول و درصد رطوبت اشباع خاک در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها در سازند لسی تأثیرگذار بوده است. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌های آقا رضی و همکاران (۱۳۹۳) فرآیند غالب در ایجاد و گسترش خندق‌های مطالعاتی منطقه ظهیرآباد مربوط به تمرکز جریان و فرسایش خطی است که بر روی دامنه‌های شیب‌دار منجر به تشکیل و توسعه خندق شده است. نتایج بررسی‌های آماری رستمی زاده و همکاران

(۱۳۹۳) با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره (روش گام‌به‌گام) نشان داد که طول خندق با مساحت بالادست خندق، عرض بالا و پایین و سطح مقطع خندق با ضریب گردی حوضه، عمق خندق با ضریب گردی حوضه و انحناى دامنه، ارتفاع پیشانی خندق با شیب محلی سر خندق و شیب جداره خندق با درصد تاج پوشش رابطه معنی‌داری دارند. رستمی زاده و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق خود بیان کردند که برای مبارزه با فرسایش باید عوامل مؤثر در توسعه خندق‌ها شناخته شوند. نتایج بررسی‌های ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) در حوزه آبخیز آق امام از طریق آزمون مقایسه میانگین نمونه به روش *t-student* نشان داد که از بین خصوصیات خاک، درصد رس، درصد سیلت، درصد رطوبت اشباع، شوری، کربن آلی و آهک در ایجاد فرسایش خندق خطی در منطقه مورد مطالعه نقش مؤثری دارند.

نتایج حاصل از مطالعات صحتی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین برخی خصوصیات مورفومتری و درصد تاج پوشش گیاهی وجود دارد به طوری که ابعاد مختلف خندق بر درصد تاج پوشش گیاهی تأثیرگذار می‌باشد و تفاوت پراکنش تیپ‌ها و گونه‌های مختلف گیاهی در ارتباط با عوامل مورفومتری نیز از دیگر نتایج این مطالعه است که توسط روش‌های آماری چند متغیره به خوبی آنالیز شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش انتظاری و همکاران (۱۳۹۴) در حوضه آبریز دیره این نتیجه به دست آمد که از مجموع ۸ عامل بررسی شده، ۵ عامل (شیب، انحناى افقی شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده‌ها، سنگ‌شناسی) به عنوان عوامل مؤثر در تولید خندق هستند.

کریمی سنگچینی و وافق (۱۳۹۴) در پژوهش خود در حوضه ناغان استان چهارمحال بختیاری از مدل ROC و QS استفاده کردند که در آن نتایج کار اسکوتر محاسبه شده نشان می‌دهد که در هر دو مدل‌ها تفاوت فراوانی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و تفکیک بالایی بین کلاس‌های خطر وجود دارد. نتایج نشان داد که در حدود ۳۱ درصد از مساحت حوضه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شدند.

نتایج حاصل از کارهای صحتی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین برخی خصوصیات مورفومتری و درصد تاج پوشش گیاهی وجود دارد. به طوری که ابعاد مختلف خندق بر درصد تاج پوشش گیاهی تأثیرگذار می‌باشد و تفاوت پراکنش تیپ‌ها و گونه‌های مختلف گیاهی در ارتباط با عوامل مورفومتری نیز از دیگر نتایج این مطالعه است که توسط روش‌های آماری چند متغیره به خوبی آنالیز شده است.

با توجه به اهمیت مطالعه خندق‌ها، هدف از این مطالعه بررسی مورفومتری خندق‌های جنوب شهرستان فسا و شمال شهرستان داراب و بررسی ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های خاک و ارائه مدلی برای پیش‌بینی حجم خندق‌ها با استفاده از ویژگی‌های خاک است.

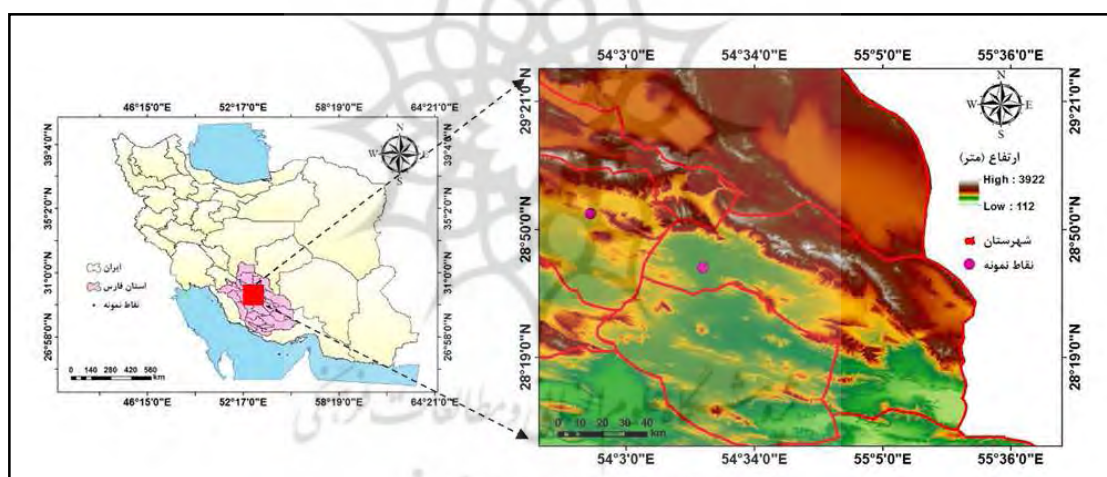
منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه خندق‌های مناطقی از جنوب شهرستان فسا و شمال شهرستان داراب بررسی شد. منطقه فسا بین ۵۳ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. کل مساحت منطقه ۱۸۴۹ کیلومتر مربع است (شکل ۱). حداقل ارتفاع ۱۲۵۲ و حداکثر ارتفاع ۳۱۸۵ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین دمای متوسط ماهانه بین حداقل ۸/۲ درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه تا حداکثر ۳۰/۴۳ درجه سانتی‌گراد در تیرماه متغیر است. متوسط بارندگی سالانه با قرار دادن ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه در رابطه گرادیان بارندگی ارتفاع ۳۴۳ میلی‌متر محاسبه می‌گردد. همچنین میانگین بارندگی دشت با ارتفاع متوسط ۱۵۹۱ متر از سطح دریا برابر با ۲۵۰ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه ارتفاعات با متوسط ارتفاع ۱۹۶۵ متر برابر ۳۷۲/۳ میلی‌متر محاسبه گردیده است. شهرستان داراب در ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی در جنوب شرقی استان فارس و

در فاصله ۲۶۵ کیلومتری شیراز قرار گرفته است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه این شهرستان در سال ۸۰ برابر با ۱۶۰ میلی‌متر و حداقل درجه حرارت برابر با ۴.۲ و حداکثر آن برابر با ۳۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه خندق‌های مناطقی از جنوب شهرستان فسا و شمال شهرستان داراب بررسی شد. منطقه فسا بین ۵۳ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. کل مساحت منطقه ۱۸۴۹ کیلومتر مربع است (شکل ۱). حداقل ارتفاع ۱۲۵۲ و حداکثر ارتفاع ۳۱۸۵ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین دمای متوسط ماهانه بین حداقل ۸/۲ درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه تا حداکثر ۳۰/۴۳ درجه سانتی‌گراد در تیرماه متغیر است. متوسط بارندگی سالانه با قرار دادن ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه در رابطه گرادیان بارندگی ارتفاع ۳۴۳ میلی‌متر محاسبه می‌گردد. همچنین میانگین بارندگی دشت با ارتفاع متوسط ۱۵۹۱ متر از سطح دریا برابر با ۲۵۰ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه ارتفاعات با متوسط ارتفاع ۱۹۶۵ متر برابر ۳۷۲/۳ میلی‌متر محاسبه گردیده است. شهرستان داراب در ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی در جنوب شرقی استان فارس و در فاصله ۲۶۵ کیلومتری شیراز قرار گرفته است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه این شهرستان در سال ۸۰ برابر با ۱۶۰ میلی‌متر و حداقل درجه حرارت برابر با ۴.۲ و حداکثر آن برابر با ۳۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه دارای اشکال متنوع ژئومورفولوژی و دامنه‌های بلند و پرضیب و مراتع و اراضی جنگلی (ارس، بنه کوهی، بادام کوهی و...) است. دشت‌های منطقه از نظر خاکشناسی نسبتاً مسطح و دارای پستی‌وبلندی چندان زیادی نیست ولی چون در اطراف دشت‌ها تپه‌ماهور و کوه‌های پرضیب و بدون پوشش گیاهی است و از طرف دیگر معمولاً بارندگی به صورت رگبارهای تند و کوتاهی انجام می‌گیرد لذا در هر بارش سیل‌های زیادی از اطراف جاری شده و چون بافت خاک در ضیب دامنه‌ها سبک است تولید فرسایش می‌کند و موجب پستی‌وبلندی اراضی می‌گردد (مطالعات نیمه تفصیلی خاک‌های فسا، ۱۳۸۰).

روش تحقیق

عملیات صحرائی

- توسط بازدیدهای صحرائی، مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در محدوده منطقه مورد مطالعه شناسایی و موقعیت آن‌ها بر روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ مشخص شد.

- به منظور تعیین شیب حوضه آبخیز بالادست رأس خندق‌ها، موقعیت جغرافیایی رأس هر یک از خندق‌ها به کمک دستگاه GPS تعیین شد و بر روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مشخص شد. بعد از تعیین موقعیت جغرافیایی و رأس خندق‌ها، شیب آن‌ها در محیط GIS تهیه شد.
- به منظور اندازه‌گیری خصوصیات مورفومتری، ژئومتری و توپوگرافی خندق‌ها، طول، عرض، عمق و ارتفاع خندق‌ها با استفاده از دوربین تئودولیت اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری نمونه‌های خاک هر یک از خندق‌ها از عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک نمونه خاک تهیه شد. بعد از نمونه‌برداری و عبور از الک ۲ میلی‌متری نمونه‌های خاک هر یک از خندق‌ها به محیط آزمایشگاه انتقال داده شد. ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت به روش هیدرومتر (روول^۱، ۱۹۹۴)، پ هاش در گل اشباع (SLS^۲، ۱۹۵۴)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (SLS، ۱۹۵۴)، کرنات کلسیم معادل (SLS، ۱۹۵۴)، درصد ماده آلی (نلسون^۳ و سومرز^۴، ۱۹۹۶) و مقدار سدیم و پتاسیم محلول (به روش شعله سنجی) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

در مدل‌های آماری، تحلیل رگرسیون یک فرآیند آماری برای تخمین روابط بین متغیرها می‌باشد. این روش شامل تکنیک‌های زیادی برای مدل‌سازی و تحلیل متغیرهای خاص و منحصر به فرد است. وقتی که تمرکز روی روابط بین متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل باشد، تحلیل رگرسیون کمک می‌کند در فهم این که چگونه مقدار متغیر وابسته با تغییر هر کدام از متغیر مستقل و با ثابت بودن دیگر متغیرهای مستقل تغییر می‌کند. مدل رگرسیون خطی فرض می‌کند که یک رابطه خطی (یا خط مستقیم) بین متغیر وابسته و هر پیشگو وجود دارد. این رابطه در فرمول زیر توضیح داده شده است.

$$y_i = b_0 + b_j x_{ij} + \dots + b_p + e_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن

y_i : مقدار مورد یام متغیر کمی وابسته است.

b_j : مقدار ضریب زام است، $j = 0, \dots, p$

x_{ij} : مقدار مورد یام از پیشگوی زام می‌باشد.

p : تعداد پیشگوها می‌باشد.

e_i : خطای در مقدار مشاهده شده برای مورد یام است.

مدل خطی است زیرا با افزایش مقدار پیشگوی زام با یک واحد باعث افزایش مقدار وابسته واحدهای b_j می‌شود. توجه کنید که b_0 عرض از مبدأ است، که وقتی مقدار هر پیشگو برابر صفر می‌شود، مقدار مدل پیشگوی متغیر وابسته می‌باشد. در نهایت به منظور بررسی اعتبار مدل میزان میانگین مربع خطاها (RMSE^۲) محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_j)^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

x_j : مقدار مشاهده شده و x_i : مقدار محاسبه شده می‌باشد

¹ Rowell

² Salinity Laboratory Staff

³ Nelson

⁴ Sommers

بحث و یافته‌ها

به‌طور میانگین اطلاعات مورفومتری و خاک مربوط به ۵ خندق در جنوب شهرستان فسا و ۵ خندق در شمال شهرستان داراب مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های مورفومتری مورد مطالعه شامل عمق متوسط خندق، عرض متوسط خندق، حجم خندق، ارتفاع هدکت، طول خندق و نوع پوشش گیاهی می‌باشد که در جداول زیر برای دو منطقه مورد مطالعه آمده است. با توجه به جدول ۱ و ۲ وجود گیاه اسفند، خارستر، کهورک و خار گونی نشان‌دهنده تخریب بیولوژیکی در مرتع می‌باشد. این گیاهان در مراتعی که از نظر سلامت وضعیت نامناسبی دارند دیده می‌شوند. حضور این گیاهان نشان‌دهنده وضعیت نامناسب خاک و فشار چرای دام در مرتع مورد مطالعه می‌باشد. البته گیاه خارستر و کهورک با داشتن ریشه‌های عمیق باعث تثبیت بیولوژیکی گالی می‌شود. در ارتباط با وضعیت پوشش گیاهی در برای این مناطق بهتر از چرای دام در این مناطق جدا خودداری شود تا این حداقل پوشش گیاهی باعث حفاظت خاک و جلوگیری از پیشروی گالی‌ها شوند.

جدول ۱: ویژگی‌های مورفومتری خندق‌های جنوب شهرستان فسا

شماره خندق	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول خندق (m)	ارتفاع هدکت (m)	حجم خندق	عرض متوسط خندق	عمق متوسط خندق	نوع پوشش	درصد پوشش
۱	۲۸.۷۵۰	۵۴.۴۴۶	۴۱	۰.۶۵	۳۳.۵۲	۱.۴۶	۰.۵۶	<i>Noea macronata</i>	۶۰
								<i>Peganum harmalla</i>	۵۰
								<i>Alhagi camelurum</i>	۳۰
۲	۲۸.۸۹۷	۵۳.۹۰۵	۸۸	۰.۴۰	۱۱۴.۵۷	۱.۴۰	۰.۹۳	<i>Prosopis fracta</i>	۲۵
								<i>Peganum harmalla</i>	۱۰
۳	۲۸.۸۹۴	۵۳.۹۰۴	۱۴.۵	۰.۳۰	۳.۲۴	۰.۵۶	۰.۴۰	<i>Salsola sp</i>	۱۰
								<i>Noea macronata</i>	۱۰
۴	۲۸.۸۹۷	۵۳.۹۰۸	۷۵	۰.۷۰	۲۹.۶۷	۰.۸۶	۰.۴۶	<i>Convulvulus sp</i>	۱۵
								<i>Noea macronata</i>	۱۵
۵	۲۸.۸۹۷	۵۲.۹۰۹	۲۹	۰.۵۰	۴.۸۰	۰.۴۶	۰.۳۶	<i>Noea macronata</i>	۱۵

جدول ۲: ویژگی‌های مورفومتری خندق‌های شمال شهرستان داراب

شماره خندق	ارتفاع هدکت (m)	طول خندق (m)	عرض متوسط خندق (m)	عمق متوسط خندق (m)	نوع پوشش	درصد پوشش
۱	۰.۳۰	۵	۰.۷۰	۰.۸۰	<i>Prosopis fracta</i>	۱۰
۲	۰.۲۰	۱۵	۱.۱۰	۰.۷۰	<i>Atriplex sp</i>	۱۰
۳	۰.۲۰	۱۷	۱.۲۰	۱	<i>Atriplex sp</i>	۱۰
۴	۰.۴	۱۰	۱	۱.۰۶	<i>Tamarix aphylla</i>	۲۵
۵	۰.۴۵	۴	۱.۰۱	۱.۰۱	<i>Tamarix aphylla</i>	۲۵

شکل هر یک از خندق‌ها برای دو منطقه مورد مطالعه در زیر آمده است:



شکل ۲: نمونه‌ای از خندق‌ها واقع در جنوب شهرستان فسا



شکل ۳: نمونه‌ای از خندق‌ها واقع در شمال شهرستان داراب

خندق‌های واقع در شمال داراب به علت تغییر در کاربری اراضی و ایجاد کانال در خاک‌های حساس به فرسایش است که منجر به ایجاد خندق‌های فعال و در حال پیشروی در دو طرف کانال گردیده است (شکل ۴).



شکل ۴: نمونه‌ای از خندق‌های در حال گسترش در شمال شهرستان داراب

در نهایت به منظور بررسی ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری خندق‌های منطقه مورد مطالعه و ویژگی‌های خاک، اقدام به اندازه‌گیری خاک هر یک از خندق‌ها شد. نمونه‌های مختلفی از خاک خندق‌ها تهیه شد و در محیط آزمایشگاه ویژگی‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر، بیکربنات، کربن آلی، مواد آلی، مس، منگنز، روی و آهن اندازه‌گیری شد که ویژگی‌های آماری آن‌ها در جدول ۳ و ۴ آمده است.

جدول ۳: ویژگی‌های خاک خندق‌های واقع در جنوب شهرستان فسا

شماره خندق	PH	EC	Na	K	Ca	Mg	بیکربنات	کربن آلی	ماده آلی	Zn	Cu	Fe	Mn	Cl
۱	۸.۶۵	۰.۱۳۴	۴۵	۳۵	۳	۰.۳۳	۱.۱۳۳	۰.۶۸۶	۱.۱۸۲	۱.۰۰۵	۰.۲۶۹	۲.۰۶۸	۱.۸۷۴	۵.۸۳
۲	۸.۵۲	۰.۱۱۷	۳۵	۵۵	۲.۶۶	۱	۱.۴۶	۰.۹۸۱	۱.۶۹۱	۰.۵۱۰	۰.۳۶۳	۱.۸۴۳	۱.۵۵۴	۳.۳۳
۳	۸.۰۱۷	۱.۰۹۲	۳۵۵	۵۰	۶.۳۳	۳	۱.۱۳	۰.۵۷۸	۰.۹۹۶	۰.۲۶۳	۰.۱۹۴	۱.۸۰۷	۱.۱۵۹	۲۰
۴	۸.۶۴	۰.۱۲۶	۵۵	۲۵	۲	۳.۶۶	۲.۱۳	۰.۶۰۵	۱.۰۴۳	۰.۳۳۲	۰.۳۵۴	۲.۰۹۹	۱.۷۸۶	۳.۳۳
۵	۸.۶۵	۰.۱۰۹	۴۰	۴۰	۲.۲۳	۲	۲.۴۶	۰.۵۲۵	۰.۹۰۵	۰.۲۵۸	۰.۳۶۸	۱.۸۹	۱.۸۴۳	۳.۳۳

جدول ۴: ویژگی‌های خاک خندق‌های واقع در شمال شهرستان داراب

شماره خندق	PH	EC	Na	K	Ca	Mg	بیکربنات	کربن آلی	ماده آلی	Zn	Cu	Fe	Mn	Cl
۱	۸.۷۶	۰.۱۲۶	۶۰	۷۵	۳.۳۳	۶.۶۷	۱.۱۳	۱.۰۷۴	۱.۸۵۳	۰.۳۰۷	۰.۶۴۷	۱.۳۹	۳.۰۹	۹.۱۶
۲	۸.۶۰	۱.۵۱۲	۲۱۰	۱۸۰	۳	۰	۱.۸	۰.۸۴۷	۱.۴۶۰	۰.۲۶۲	۰.۵۴۳	۱.۴۸۶	۱.۳۲	۳.۳۳
۳	۸.۹۵	۰.۵۲۹	۴۳۰	۸۵	۳	۳	۱	۰.۷۱۲	۱.۲۲۷	۰.۲۷۳	۰.۵۰۸	۱.۳۰۳	۱.۲۵۵	۵.۸۳
۴	۸.۷۷	۰.۷۲	۸۶۳	۱۱۳.۳۳	۳.۱۱	۳.۲۲	۱.۳۱	۰.۸۷۷	۱.۵۱	۰.۲۸۰	۰.۵۶	۱.۳۹۳	۱.۸۸	۶.۱۰
۵	۸.۷۰	۰.۷۰	۸۶۰	۱۱۳	۳.۳۳	۳	۱.۳۱	۰.۸۷۰	۱.۵۰	۰.۲۸۰	۰.۵۶۰	۱.۳۹۰	۱.۸۰	۶.۱۰

با توجه به جداول مشخص می‌شود که میزان مواد آلی در خاک بسیار پایین می‌باشد. همچنین ویژگی‌های مربوط به بافت خاک هر یک از خندق‌ها اندازه‌گیری شد که در جداول زیر نشان داده شده است:

جدول ۵: ویژگی بافت خاک خندق‌های جنوب شهرستان فسا

شماره خندق	بافت خاک	درصد سیلت	درصد شن	درصد رس
۱	لوم رسی سیلتی	۴۴	۲۳.۲۴	۳۲.۷۶
۲	لوم رسی	۴۴.۷۲	۲۰.۵۲	۳۴.۷۶
۳	لوم	۴۰.۷۲	۳۴.۵۲	۲۴.۷۶
۴	لوم	۴۴.۳۶	۳۲.۸۸	۲۲.۷۶
۵	لوم	۴۶.۳۶	۲۶.۸۸	۲۶.۷۶

جدول ۶: ویژگی بافت خاک خندق‌های شمال شهرستان داراب

شماره خندق	بافت خاک	درصد رس	درصد شن	درصد سیلت
۱	رس	۴۰.۷۶	۲۷.۲۴	۳۲
۲	رس	۶۰.۷۶	۱۵.۲۴	۲۴
۳	رس	۵۲.۰۴	۲۳.۲۴	۲۴.۷۲
۴	رس	۵۱.۱۸	۲۱.۹۰	۲۶.۹۰
۵	رس	۵۱	۲۲	۲۵

با توجه به جدول ۵ و ۶ مشخص می‌شود که خندق‌های با ابعاد بزرگ‌تر دارای بافت لوم، لومی رسی و لومی رسی سیلتی هستند در حالیکه خندق‌های با ابعاد ریزتر فقط دارای بافت رسی هستند. به‌منظور بررسی ارتباط بین حجم خندق و دیگر ویژگی‌های مورفومتری خندق و همچنین بررسی ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری خندق و ویژگی‌های خاک از روش رگرسیون خطی استفاده شد. نتایج مربوط به همبستگی بین حجم خندق و دیگر ویژگی‌های مورفومتری خندق در جدول شماره ۷ آمده است. با توجه به جدول مشخص می‌شود که عمق خندق با همبستگی زیاد (0.953^*) بیشترین همبستگی را با حجم خندق در جهت مثبت دارد.

جدول ۷: همبستگی بین حجم خندق و ویژگی‌های مورفومتری خندق

پارامترها	حجم خندق	ارتفاع هدکت	درصد پوشش گیاهی	عمق خندق	عرض خندق	طول خندق
حجم خندق	۱	-۰.۹۹۲	۰.۱۶۴	۰.۹۵۳*	۰.۷۴۳	۰.۸۲۸
ارتفاع هدکت		۱	۰.۵۱۴	-۰.۳۶۶	۰.۲۹۵	۰.۳۳۶
درصد پوشش گیاهی			۱	-۰.۰۸۱	۰.۷۸۲	۰.۱۰۰
عمق خندق				۱	۰.۵۴۶	۰.۶۹۴
عرض خندق					۱	۰.۵۹۷
طول خندق						۱

* همبستگی با سطح اطمینان ۰/۰۵

همچنین در جدول ۸ نتایج حاصل از همبستگی بین حجم خندق و ویژگی‌های خاک (سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلر، روی، مس، آهن، بیکربنات و کربن آلی) نشان داد که با کاهش میزان مواد آلی (OC) و بیکربنات (CC) حجم خندق‌ها بزرگ می‌شود. به طوری که OC با ضریب همبستگی -0.987^{**} و CC با همبستگی -0.987^{**} با میزان حجم خندق همبستگی معنی‌دار در جهت معکوس دارند.

جدول ۸. همبستگی بین حجم خندق و ویژگی‌های خاک

حجم خندق	OC	CC	Hco3	Fe	Zn	Mn	Cu	Cl	Mg	Ca	K	Na	Ec	PH
حجم خندق	۱	(**)-۰,۹۸۷	(**)-۰,۹۸۴	۰,۲۲۸	۰,۱۲۵	۲۸۲	۰,۲۱	۴۳۲	۰,۴۳۶	۰,۳۶۵	۰,۳۴۵	۴۳۹	۰,۴۴۲	۰,۴۱۷
OC		۱	(**)-۰,۹۹۷	۰,۳۳۷	۰,۲۳۸	۰,۲۹۲	۰,۱۱۶	۰,۳۰۱	۰,۲۹۵	۰,۲۹۳	۰,۱۹۶	۰,۵۵۶	۰,۳۱۰	۰,۲۸۱
CC			۱	۰,۳۸۶	۰,۱۹۷	۰,۳۶۵	۰,۰۸۲	۰,۲۷۷	۰,۳۰۳	۰,۳۵۰	۰,۲۰۲	۰,۵۳۵	۰,۳۲۸	۰,۲۹۹
Hco3				۱	۰,۱۷۷	۰,۵۸۲	۰,۵۲۷	۰,۷۵۶	۰,۵۸۲	۰,۰۲۷	۰,۶۳۹	۰,۴۴۱	۰,۴۸۲	۰,۵۰۶
Fe					۱	۰,۳۷۱	۰,۷۲۴	۰,۲۲۹	۰,۴۹۷	۰,۵۱۸	۰,۵۷۴	(*)-۰,۹۱۳	۰,۵۲۲	۰,۵۴۸
Zn						۱	۰,۳۶۷	۰,۱۸۰	۰,۱۸۹	۰,۸۱۴	۰,۱۳۱	۰,۰۳۱	۰,۳۳۳	۰,۳۱۰
Mn							۱	۰,۶۶۲	۰,۸۶۵	۰,۷۹۴	(*)-۰,۸۸۸	۰,۶۶۵	(*)-۰,۸۹۴	(*)-۰,۹۰۴
Cu								۱	۰,۹۱۹	۰,۳۹۹	(*)-۰,۹۱۲	۰,۲۳۷	۰,۸۵۵	۰,۸۶۰
Cl									۱	۰,۷۰۷	(**)-۰,۹۹۱	۰,۳۹۷	(**)-۰,۹۸۸	(**)-۰,۹۹۱
Mg										۱	۰,۶۵۹	۰,۲۴۶	۰,۸۰۷	(**)-۰,۹۹۱
Ca											۱	۰,۵۰۰	(**)-۰,۹۷۰	(**)-۰,۹۷۹
K												۱	۰,۳۷۵	۰,۴۱۲
Na													۱	(**)-۰,۹۹۹
Ec														۱
PH														

** همبستگی با سطح اطمینان ۰/۰۱

* همبستگی با سطح اطمینان ۰/۰۵

بعد از تعیین همبستگی بین حجم خندق به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های خاک به عنوان متغیرهای مستقل، با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره (گام به گام)، مدل مطلوب برای پیش‌بینی حجم خندق تعیین شد (جدول ۹).

جدول ۹: نتایج حاصل از رگرسیون چند متغیره بین حجم خندق و ویژگی‌های خاک

مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد
	B	Std. Error	
۱ (مقدار ثابت)	190.803	25.986	-
Mn	-9.705	3.681	-0.155
Fe	-60.559	6.015	-0.545
CC	101.912	2.377	0.942
OC	20.560	2.901	0.295
Mg	-17.566	0.902	-0.995
Ca	-49.867	5.477	-1.725
Na	-0.054	0.001	-1.040
pH	0.024	0.003	1.820

متغیر مستقل: حجم خندق

خلاصه مدل پیش‌بینی حجم خندق با استفاده از ویژگی‌های خاک در جدول زیر نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱۰ مشخص می‌شود که این مدل با ضریب همبستگی بالا، مدل مطلوب برای پیش‌بینی حجم خندق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱۰: خلاصه مدل پیش‌بینی حجم خندق بر اساس ویژگی‌های خاک

مدل	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
۱	1.000a	1.000	0.999	1.16155

پارامترهای مؤثر: pH, Na, CC, Mg, OC, Mn, Fe, Ca

بنابراین با توجه به نتایج حاصل از جداول مشخص می‌شود که مدل پیش‌بینی حجم خندق با توجه به ویژگی‌های خاک از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد. شایان‌ذکر است که رستمی و همکاران (۱۳۹۴) و غفاری و چرخابی (۱۳۷۸) به این نتیجه رسیدند که از مدل رگرسیون خطی برای پیش‌بینی گسترش خندق می‌توان استفاده نمود.

$$\text{Volume gully} = 190.80 - 9.70Mn - 60.55Fe + 101.912CC + OC20.56 - 17.56Mg - 49.86Ca - 0.054Na + 0.024pH \quad (۳)$$

نتیجه‌گیری

فرسایش خندقی از اشکال پیشرفته و حاد فرسایش آبی است که دلالت بر هدر رفت حجم عظیمی از خاک اراضی دارد. در حقیقت فرسایش خندقی یکی از مخرب‌ترین و پیچیده‌ترین فرسایش‌ها است که مطالعه آن مهم می‌باشد. در این تحقیق هدف بررسی خندق‌های منطقه جنوب شهرستان فسا و شمال شهرستان داراب بود که برای این منظور ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها و ویژگی‌های خاک مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از این بررسی‌ها که از روش آماری رگرسیون خطی چندگانه به دست آمد نشان داد که حجم خندق با عمق خندق همبستگی زیاد و ارتباط مستقیم دارد. به طوری که از بین پارامترهای مورفومتری عمق متوسط خندق، عرض متوسط خندق، حجم خندق، ارتفاع هدکت، طول خندق و نوع پوشش گیاهی، عمق خندق ارتباط بیشتری با حجم خندق و در حقیقت میزان هدر رفت خاک دارد. در بررسی حجم خندق با ویژگی‌های خاک مشخص شد که با کاهش میزان مواد آلی (OC و CC) حجم خندق‌ها بزرگ می‌شود (رابطه معکوس). به طوری که OC با ضریب همبستگی -0.987^{**} و CC با ضریب همبستگی -0.984^{**} با میزان حجم خندق همبستگی معنی‌دار در جهت عکس دارد. در این مطالعه مشخص شد که با کاهش مواد غذایی خاک وسعت خندق‌ها در منطقه بیشتر می‌شود. همچنین مشخص شد که با افزایش فعالیت انسان در مناطقی که دارای خاک حساس به فرسایش هستند، گسترش خندق‌ها بیشتر می‌شود. مطالعاتی که در خارج از کشور در این زمینه انجام شده گواه این موضوع هستند که با ارتباط معنی‌داری بین طول خندق و پارامترهای مورفومتری حوضه آبخیز وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که خندق‌های با ابعاد بزرگ‌تر دارای بافت لوم، لومی رسی و لومی رسی سیلتی هستند در حالیکه خندق‌های با ابعاد ریزتر فقط دارای بافت رسی هستند. کاپرا^۱ و همکاران (۲۰۰۵) تعیین کردند که ارتباط معنی‌داری بین حجم مواد فرسایش یافته و پارامترهای مورفومتری و هیدرولوژی خندق‌ها وجود دارد. وندوالقم^۲ و همکاران (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که حجم خاک از بین رفته در خندق‌های عمیق ۲ برابر خندق‌های کم عمق می‌باشد. همچنین رستمی زاده و همکاران (۱۳۹۴) عوامل مؤثر در رشد طولی خندق‌ها را شرق استان ایلام بررسی نمودند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که گسترش طولی خندق تابعی از طول خندق، نسبت جذب سدیم، درصد شن و میزان انحنا دامنه می‌باشد.

مراجع

- ابراهیمی، محمد، جوادی، مریم و وفا خواه، ۱۳۹۴، بررسی ارتباط عوامل مؤثر خاکی و غیرخاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی در حوضه آبخیز آق امام (۲). دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران.
- اسماعیل نژاد، ل، سید محمدی، جواد و بخشی پور، رمضان، ۱۳۹۱، تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی خاک بر مرفولوژی آبکندها در اراضی ماری جنوب استان گیلان. نشریه پژوهش و سازندگی. شماره ۹.
- آقا رضی، حشمت اله، داودی راد، علی اکبر، مردیان، مهدی و صوفی، مجید، ۱۳۹۳، بررسی آستانه مساحت شیب خندق‌ها در حوزه آبخیز ظهیرآباد سازند استان مرکزی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

¹ Capra

² Vandwallegghem

- انتظاری، مژگان، ملکی، امجد، مرادی، خدیجه، الفتی، سعید، ۱۳۹۴، بررسی فرسایش خندقی حوضه آبریز دیره با استفاده از روش تلفیق وزنی و شاخص توان آبراهه‌ای، از دانشگاه اصفهان، دانشگاه رازی کرمانشاه و دانشگاه یزد.
- ثروتی، محمدرضا، قدوسی، جمال، دادخواه، معصومه، ۱۳۸۷، عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی درلس‌ها، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۸، بهار ۱۳۸۷، صص ۲۰-۳۳.
- خوجه، ج، جمال قدوسی و رضا اسماعیلی، ۱۳۹۱، بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و گسترش فرسایش خندقی در حوزه آبخیز نمزقره قوزی استان گلستان. نشریه پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. شماره ۵: ۴۱-۲۷.
- رستمی زاده، قباد و همکاران، ۱۳۹۴، تعیین عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق‌ها و پیش‌بینی گسترش آن. مطالعه موردی: (شهرستان دره شهر). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۱، صص. ۴۶-۵۸.
- رستمی زاده، قباد، علی سلاجقه و نظری سامانی، قدوسی، ۱۳۹۳، تعیین عوامل مؤثر در ژئومتری فرسایش خندقی مطالعه موردی: شهرستان دره شهر. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- صحتی، محمد، طاهر، نوحه‌گر، اسماعیل‌پور و غلامی ۱۳۹۴، بررسی ارتباط خصوصیات مورفومتری خندق فرسایشی با پراکنش پوشش گیاهی (مطالعه موردی شهرستان لامرد استان فارس). گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه هرمزگان و مهندسی طراحی محیط‌زیست دانشگاه تهران.
- غفاری، علیرضا و چرخابی، امیرحسین، ۱۳۷۸، پیش‌بینی میزان رشد سالانه فرسایش خندقی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی. اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران. دانشگاه تربیت‌معلم تهران.
- فرج زاده، منوچهر، عباسعلی افضلی، یاسر، خلیلی، عبدالله، قلیچی، ۱۳۹۱، ارزیابی میزان حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی: جنوب شرق استان مازندران؛ کیاسر)، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، جلد ۲، شماره ۶، ۵۷-۴۲.
- کریمی سنگچینی، ابراهیم و اونق، مجید، ۱۳۹۴، ارزیابی خطر فرسایش خندقی با مدل‌های آماری در میان حوضه ناغان، استان چهارمحال و بختیاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- مقصودی، مهران، شادفر، صمد، عباسی، محمد، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه زواریان استان قم، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، صص ۵۲-۳۵.
- مهرجردی، زارع، صوفی، مجید و چوپانی، سعید، ۱۳۸۶، بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی در منطقه گزیر استان هرمزگان. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج.
- نظری سامانی، علی‌اکبر، توکلی، احمدی، راهی، ۱۳۹۳، تعیین عوامل مؤثر بر رشد طولی فرسایش خندقی در حوزه آبخیزدره کره. استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، صص ۱۱۷-۱۲۶.
- نکویی مهر، محمد، امامی، سید نعیم، ۱۳۸۶، طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی (مطالعه موردی استان چهارمحال بختیاری)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۷، صص ۸۴-۹۲.
- Capra, A., Mazzara, L.M., Scicolone, B., 2005. Application of the EGEM model to predict ephemeral gully erosion in Sicily Italy. *Catena* 59 (2005) 133-146.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., Sparks, D., Page, A., Helmke, P., Loepfert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., Johnston, C., Sumner, M. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of Soil Analysis*.
- Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*; Longman Group Limited, Longman Scientific & Technical: Essex, UK.
- Salinity Laboratory Staff, 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook No. 60, United States department of agriculture, Washington, DC.*
- Vandwalleghem, T.J., Poesen, J., Nachtergaele, Vesthraeten G., 2005. characteristics controlling factors and importance of deep gullies under cropland on loess-derived soils. *Geomorphology*, Vol 69:76-91.