دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی- فضای جغرافیایی

سال بیست‌ویکم، شماره‌ی ۷۶
زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۱۸-۱

DOI:10.52547/GeoSpa.21.4.1

بشیر بشارتی[۱]
*موسی عابدینی[۲]
صیاد اصغری[۳]

# بررسی ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در حوضه آبخیز شور چای

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۳۱ تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲٤

## چکیده

فرسایش خندقی یکی از مخرب‌ترین و پیچیده‌ترین انواع فرسایش آبی است و باعث ایجاد مشکلات مختلف زیست‌محیطی می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های حوضه‌ی مورد مطالعه با استفاده از تحلیل‌های آماری در ایجاد و گسترش خندق‌ها می‌باشد. در ابتدا با استفاده از ضریب هیدروترمال (HTK) استعداد منطقه برای خندق‌زایی مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد با شناسایی خندق‌های منطقه از طریق بازدیدهای میدانی، تعداد ۱۰ نمونه خندق انتخاب و نمونه‌های خاک از هر خندق در دو عمق سطحی (۳۰-۰) و زیر سطحی (٦۰-۳۰) برداشته شده و مورد تحلیل آزمایشگاهی قرار گرفتند. پس از تحلیل مورفومتری خندق‌ها که شامل طول، عرض و عمق می‌باشد، برای تعیین میزان اثرگذاری بین ویژگی‌های خاک و مورفومتری خندق‌ها و رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته از روش همبستگی پیرسون و رگرسیون چند متغیره استفاده شد. نتایج حاصل از ضریب هیدروترمال (HTK) نشان داد که از نظر ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه، استعداد زیادی برای خندق‌زایی دارد و نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان داد که حجم خندق با عمق و طول خندق ارتباط مستقیم دارد و از بین ویژگی‌های خاک، میزان شوری و هدایت الکتریکی

۱- دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل. E-mail: B.besharati@uma.ac.ir
*۲ - گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل (نویسنده مسول). E-mail: Abedini@uma.ac.ir
۳- گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

دارای بیش‌ترین نقش را در گسترش خندق‌های منطقه مورد مطالعه دارند؛ بنابراین با افزایش این پارامترها فرسایش آبی در منطقه افزایش می‌یابد و زمینه را برای فرسایش خندقی فراهم می‌آورد.

**کلید واژه‌ها**: مورفومتری، ویژگی‌های خاک، رگرسیون، حوضه شور چای.

**مقدمه**

فرسایش خندقی از فرآیندهای مهم تخریب خاک است که سبب تلفات قابل ملاحظه خاک و تولید مقادیر فراوان رسوب می‌شود. این نوع فرسایش یکی از مخرب‌ترین و پیچیده‌ترین انواع فرسایش آبی محسوب می‌گردد. (Shadfar, 2010: 11). اهمیت بررسی این نوع فرسایش، روز به روز به خاطر تخریب اراضی کشاورزی، نابودی مراتع، از بین بردن خطوط ارتباطی و راه‌آهن، پرشدن مخازن سدها، پرشدن کانال‌های آبیاری و آسیب رساندن به سکونتگاه‌های انسانی بیش‌تر می‌شود. فرسایش خندقی تهدید جدّی برای جامعه و محیط است که به‌وسیله رواناب سطحی و توپوگرافی ناهموار، شکل می‌گیرد و سرعت آن به خاطر عملکردهای غیراصولی انسان در سال‌های اخیر افزایش یافته است (Addis et al., 2015: 1). خندق یک آبراهه با کناره‌های دارای شیب تند و یک پیشانی فرسایشی پرشیب و فعال می‌باشد که با فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب به‌طور معمول در طی ریزش باران های شدید یا پس از آن ایجاد می‌شود (Posen et al., 2003). خندق‌ها، کانال‌های عمیقی هستند که با شخم عادی از بین نمی‌روند اما خندق‌های موقتی در زمین‌های کشاورزی مانند شیارها به اندازه‌ای کوچک هستند که امکان اصلاح آن‌ها با شخم معمولی امکان‌پذیر است (Jahan Tigh & Tabe, 2016: 309). فرسایش خندقی یکی از فرایندهای مهم دینامیک مواد و عناصر بر روی دامنه‌ها و سطوح کم شیب است و به‌عنوان یکی از عوامل مهم ناپایداری و فرسایش خاک بشمار می‌رود و در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان در مواردی که استفاده از زمین بر اساس اصول علمی نباشد، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در زمین ایجاد و اثرات زیان‌بار اقتصادی و اجتماعی را به همراه دارد (Moghimi and Salami, 2011: 50). این نوع فرسایش زمانی رخ می‌دهد که آستانه‌های ژئومورفولوژیکی در اثر افزایش جریان آب و یا فرسایش‌پذیری خاک از بین برود و از ۱۰ تا ۹٤ درصد از کل فرسایش را شامل می‌شود (Conoscentia et al., 2013: 2). تغییرات کاربری زمین و تغییرات شدید آب‌وهوایی هم می‌تواند منجر به ایجاد خندق شود (Valentin et al., 2005: 135). شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله خصوصیات فیزیکی و توزیع ذرات تشکیل دهنده آن و مقدار املاح موجود در خاک و سازندهای زمین‌شناسی می‌باشد. فرسایش خندقی به لحاظ انتقال افق‌های حاصلخیز خاک و کاهش ظرفیت نگهداشت آب بسیار خطرناک است (Hosseinzadeh, et al., 2016: 144). Shit et al (2013) در مطالعات خندق‌های موقت زمین‌های بدلند هندوستان با استفاده از روش‌های مورفومتری به این نتیجه رسیده‌اند که ارتباط شدید بین متغیرهای شدت بارش، حجم رواناب و شیب دامنه با توسعه خندق‌ها وجود دارد. Ehiz & Omougbo (2013) به ارزیابی عوامل موثر در

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

توسعه فرسایش خندقی در ایالت نیجریه با استفاده از روش‌های میدانی و آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که زهکش‌های نامناسب انتهایی، محتوی کم رس، شرایط توپوگرافی خاص، فقدان پوشش‌گیاهی و استفاده نامناسب از زمین مهم‌ترین عوامل موثر در ایجاد فرسایش خندقی می‌باشند. Danladi and Ray (2014) با استفاده از مطالعات میدانی و تحلیل‌های آماری در کلان‌شهر گامبی در نیجریه گزارش دادند که بالا بودن مقدار شن و پایین بودن سیلت و رس، زمینه‌ساز گسترش عرضی و عمقی خندق‌ها شده است. Oyegun et al (2016) به مطالعه مورفومتری خندق‌ها و تاثیر ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های آماری در نیجریه پرداخته و نتایج تحقیق نشان داد که بین ویژگی‌های خاک، شیب زمین و فرسایش خندقی ارتباط معناداری وجود دارد. Mallam et al (2016) به مطالعه و ارزیابی فرسایش خندقی در کلان‌شهر کانو در نیجریه پرداخته‌اند و با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و مورفومتری خندق‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که ویژگی‌های خاک شرایط مساعدی را برای گسترش و پیشروی عمق، طول و عرض خندق‌ها فراهم نموده است Oparaku and Lwar (2018). به مطالعه و بررسی ارتباط بین عمق و عرض خندق‌ها در سازندهای زمین‌شناسی متفاوت در شمال نیجریه مرکزی با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون دو متغییره پرداخته‌اند که نتایج حاصل نشان می‌دهد ارتباط معناداری بین عمق و عرض خندق‌ها در سازندهای زمین‌شناسی فرسایش‌پذیر وجود دارد. Nohehgar & Heidarzadeh (2011) به مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و مورفومتری مناطق خندقی در استان هرمزگان پرداخته‌اند و نتایج تحقیق نشان داد که افزایش درصد سیلت و رس زمینه‌ساز فرسایش خندقی بوده است. Ismail Nejad et al (2012) تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی خاک بر مورفولوژی خندق‌ها در اراضی مارنی جنوب استان گیلان را مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که شکل‌گیری و ایجاد انواع خندق‌ها، تابعی از میزان رس خاک، نوع رس و میزان سدیم محلول تبادلی بوده است. Makram and Mahmoudi (2016) به بررسی ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های آماری در استان فارس پرداخته‌اند، نتایج حاصل از رگرسیون خطی چندگانه نشان می‌دهد که حجم خندق با عمق خندق ارتباط مستقیم و با میزان مواد آلی رابطه معکوس دارد و با کاهش مواد آلی در خاک فرسایش آبی در منطقه افزایش می‌یابد و زمینه را برای فرسایش خندقی فراهم می‌سازد. Rostamizadeh and Khanbabaei (2016) به ارزیابی تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر گسترش فرسایش خندقی در دره شهر ایلام با استفاده از روش‌های رگرسیون چند متغییره پرداخته‌اند، نتایج تحقیق نشان داد که میزان شوری، نسبت سدیم قابل جذب و سدیم محلول بیش‌ترین نقش را در گسترش خندق دارند. پیچیده بودن مکانیسم‌های مختلف در این نوع فرسایش و تعدّد عوامل موثر در مناطق مختلف جغرافیایی ایجاب می‌کند که تحقیقات بیش‌تری جهت شناسایی این نوع فرسایش صورت گیرد. حوضه شور چای هم یکی از مناطق فعال فرسایش خندقی محسوب می‌شود، به‌طوری‌که تشکیل و گسترش خندق‌ها در طول سال کاملا مشهود است و زمین‌های زراعی منطقه در اثر پیشرفت فرسایش با سرعت زیاد در حال تخریب و نابودی هستند. با توجه به این‌که در این منطقه مطالعه‌ای در این راستا انجام نگرفته است، مطالعه‌ی آن جهت جلوگیری از پیامدهای زیان‌بار و مخرب

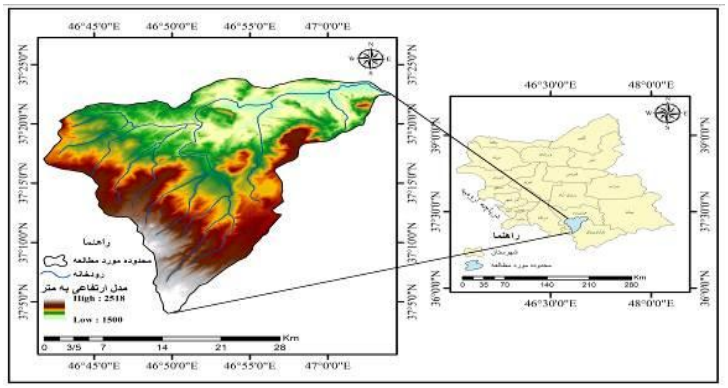
[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

اقتصادی لازم می‌باشد. نوآوری این تحقیق استفاده از روش‌های اماری برای بررسی ارتباط فرسایش خندقی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با توجه به شرایط ژئومورفولوژی منطقه و با استفاده از روش‌های میدانی در بازه زمانی یک‌ساله است که برای اولین بار در منطقه انجام گرفته است.در این پژوهش با انجام پیمایش صحرایی و انجام آزمایش‌های مختلف در که جهت برنامه‌ریزی صحیح منطقه‌ای و اقدامات آبخیزداری در سطوح مختلف کاربری لازم می‌باشد. این مطالعه می‌تواند منجر به تولید اطلاعات ارزشمند جهت کنترل و کاهش خسارات ناشی از فرسایش خاک در راستای اهداف توسعه پایدار در منطقه باشد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز شور چای در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند، استان آذربایجان‌شرقی، ۱۵ کیلومتری جنوب شهرستان هشترود واقع شده است. قسمت اعظم این حوضه در شهرستان چاراویماق و قسمت‌هایی از آن در محدوده جغرافیایی شهرستان هشترود قرار داد. وسعت حوضه مورد مطالعه ٥٦١ کیلومتر مربع می‌باشد و در مختصات ۳۷ درجه و ٤ دقیقه تا ۳۷ درجه و ٢٤ دقیقه عرض شمالی و ٤٦ درجه و ٤١ دقیقه تا ٤٧ درجه و ٢ دقیقه طول شرقی قرار دارد. از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی یکی از زیر حوضه‌های تشکیل دهنده رودخانه‌ی قرانقوچای می‌باشد. بیش‌ترین ارتفاع ٢٥٦٠ متر کوه‌های گل‌دامن‌داغ که سرچشمه شاخه اصلی شور چای می‌باشد و کم‌ترین ارتفاع ۱۵۲۰ متر در نقطه خروجی حوضه در نزدیکی روستای چپنی می‌باشد (محل اتصال شور چای به قرانقوچای). از نظر ژئومورفولوژیکی وجود کوه‌های منفرد با راس نسبتاً مسطح به‌صورت مجزا و دور از هم و دشت‌های بین کوهی با دامنه‌های ملایم، تپه‌ماهورها و تراس‌های آبرفتی چشم‌انداز کلی منطقه را تشکیل می‌دهد. دشت‌های بین کوهی به همراه تراس‌های جدید و قدیم رودخانه‌ای، مهم‌ترین زمین‌های کشاورزی روستاییان است که باعث شکل‌گیری بیش از ٤٠ روستا در این حوضه شده است. میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۳۳۱ میلی‌متر و میانگین سالیانه دمای ایستگاه‌های منتخب منطقه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. مرداد ماه با ٢٤/٥ درجه گرم‌ترین ماه و آذر ماه با ۳/۵– سردترین ماه می‌باشد (شکل ۱).




**شکل ۱: موقعیت حوضه شور چای**

**Figure 1: Location of Shurchai basin**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

در منطقه مورد مطالعه بیش‌تر خندق‌ها در قسمت‌های شمالی و غربی حوضه، انتهای زهکش‌های اصلی و در پایین تپه‌های مارنی گچ دار و نمک‌دار قرار دارند. ملاحظه نقشه پراکندگی خندق‌ها نشان می‌دهد که روستاهای آسایش، ملاجیق، خورشید، یانیق، تکانلوی علیا و قویون قشلاقی با خطر شدید خندق‌زایی مواجه هستند (شکل ۲).

## مواد و روش‌ها

الگوی تحقیق از نوع تجربی و کاربردی است و برای رسیدن به اهداف تحقیق، ابتدا محدوده مورد مطالعه از روی نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و کاربری اراضی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. سپس الگوی شبکه‌های زهکشی از جهت تطابق با موقعیت خندق‌ها مورد بررسی قرار گرفت و در مرحله بعدی در دو نوبت مشاهدات میدانی انجام گرفت و از بین خندق‌های موجود تعداد ۱۰ نمونه خندق، انتخاب و مشخصات آن‌ها ثبت شد. سپس عملیات مورفومتری و آزمایشگاهی بر روی آن‌ها انجام گرفت و مراحل انجام این تحقیق به تفکیک موارد به شرح زیر می‌باشد:

الف- مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای

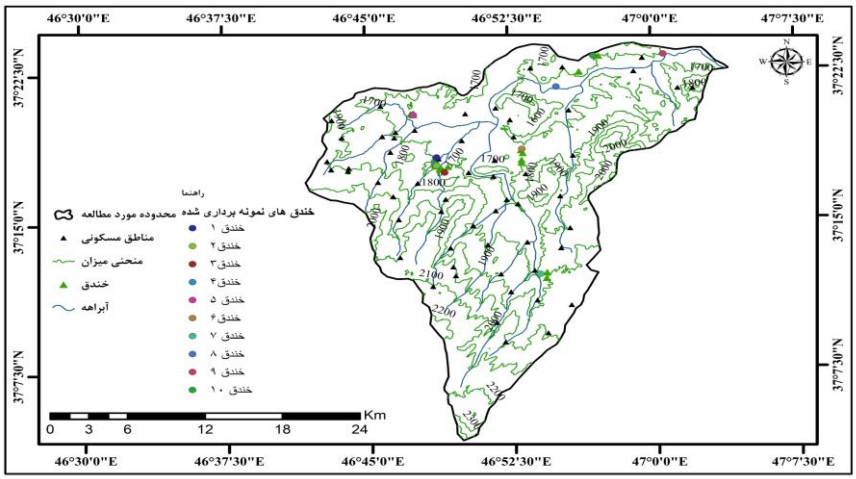
جهت شناسایی مقدماتی ویژگی‌های طبیعی حوضه از اسناد کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های ۱ :۲۵۰۰۰ و ۱: ۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱: ۱۰۰۰۰۰ منطقه و داده‌های اقلیمی ۲۳ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۳) ایستگاه-های هشترود، چاراویماق و نظر کهریزی، تصاویر گوگل ارث استفاده شده است.

ب- عملیات صحرایی

ابتدا در این تحقیق، اطلاعات موجود درباره مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در منطقه تهیه و از طریق بازدیدهای صحرایی، وضعیت و تیپ فرسایش خندقی منطقه بررسی و از میان خندق‌های شناخته شده تعداد ۱۰ نمونه خندق فعال و تیپیک انتخاب گردید. انتخاب خندق‌ها بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و شرایط هیدرولوژیکی منطقه صورت گرفت و با توجه به این‌که شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی (مخصوصا نوع و جنس سازند) تاثیر زیادی در فرسایش خندقی دارند منطقه به پنج واحد همگن از لحاظ فاکتورهای ذکرشده تقسیم گردید، سپس از هر واحد همگن بر اساس پراکندگی آن‌ها دو نمونه وجمعا ده خندق انتخاب گردید و پس از نمونه‌برداری خاک از هر خندق، موقعیت جغرافیایی هر یک از خندق‌ها به کمک دستگاه GPS ثبت و پارامترهای مورفومتری خندق‌های انتخابی اندازه‌گیری شدند (شکل ۲).

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]




**شکل ۲: نقشه موقعیت خندق‌های نمونه‌برداری شده**

**Figure 2: Map of the location of the sampled ditches**

ج- مطالعات آزمایشگاهی

برای اخذ نمونه‌های خاک و تجزیه‌وتحلیل‌های آزمایشگاهی خاک‌شناسی تعداد ۱۰ نمونه خاک، هم خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) و هم خاک زیر سطحی (۶۰-۳۰ سانتی‌متر) از مناطق محدوده خندق (جمعا ۲۰ نمونه خاک) جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک پس از عبور از الک دو میلی‌متری، به آزمایشگاه خاک انتقال داده شدند و خصوصیات فیزیکی (درصد رس، درصد سیلت، درصد شن) به روش هیدرومتری و خصوصیات شیمیایی خاک‌ها (پتاسیم، منیزیم، فسفر، هدایت الکتریکی، ماده آلی، سدیم، آهک و PH) اندازه‌گیری شد. چون این پارامترها بیش‌ترین تأثیر را در فرسایش خندقی دارند و همچنین با توجه به هزینه بالای تست در آزمایشگاه این پارامترها در نظر گرفته شد.

د- استفاده از ضریب اقلیمی هیدروترمال جهت پی‌بردن به استعداد منطقه برای خندق‌زایی

بعد از نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های لازم که در بالا ذکر شد و نیز جمع‌آوری داده‌های اقلیمی لازم با استفاده از مدل‌های تجربی مختلف، اقدام به بررسی و تجزیه‌وتحلیل نتایج حاصل از آن‌ها شد. در میان عوامل مختلف موثر در فرسایش خندقی شرایط اقلیمی نقش موثری دارند. برای پی بردن به استعداد خندق‌زایی در حوضه مورد مطالعه ضریب اقلیمی هیدروترمال مورد بررسی قرار گرفت. ضریب هیدرترمال از رابطه زیر به‌دست می‌آید (Abedini, 2005: 187):

$$HTK= (ER/ET)\times 10$$

رابطه (۱)

ER= مجموع بارش سالانه به میلی‌متر

ET= ضریب دمایی برای ماه‌هایی از سال که دمای منطقه بیش از ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. این ضریب از جمع دمای ماهانه بالای ۱۰ درجه از داده‌های اقلیمی ایستگاه هشترود برای حوضه مورد مطالعه به‌دست آمده و در جدول (۱) نشان داده شده است.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

ر- استفاده از مدل‌های آماری

برای بررسی همبستگی بین متغیرهای وابسته و مستقل با استفاده از نرم‌افزار SPSS از ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل رگرسیونی استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌های با توزیع نرمال به‌کار می‌رود و بین ۱- و ۱ تغییر می‌کند r = ۱ بیانگر رابطه مثبت r = ۱- نشانگر رابطه معکوس بین متغیرها می‌باشد. تحلیل رگرسیون یک فرایند آماری برای تخمین روابط بین متغیرها می‌باشد و اینکه چگونه مقدار متغیر وابسته با تغییر هر کدام از متغیرهای مستقل و ثابت بودن دیگر متغیرهای مستقل تغییر می‌کند. مدل رگرسیون خطی فرض می‌کند که یک رابطه خطی یا خط مستقیم بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود دارد. مدل رگرسیون چند متغیره نوع بسط یافته از مدل رگرسیون خطی دو متغیره است که در آن سعی می‌شود بر اساس چندین متغیر مستقل، پیش‌بینی یا متغیر وابسته برآورد شود. این مدل بر اساس رابطهٔ زیر ارائه می‌شود:

$$y = a + b1\ x1 + b2\ x2 + \ldots + bi\ xi$$ رابطه (۲)

که در آن: a، ضریب ثابت است؛ b1 تا bi ضریب رگرسیون بخشی است.

**یافته‌ها و بحث**

استفاده از ضریب اقلیمی هیدروترمال در مطالعه و گسترش خندق‌ها

در میان عوامل مختلف در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها عوامل اقلیمی مانند دما و بارش به‌طور مستقیم و غیرمستقیم نقش موثری دارند. پژوهشگران جهت پی بردن و مشخص کردن خندق‌زایی مناطق از چند ضریب اقلیمی استفاده نموده‌اند که یکی از ضرایب ساده و مهم، ضریب هیدروترمال می‌باشد. اگر ضریب هیدروترمال در محدوده ۱/۲۵ الی ۲/۵ نوسان کند نشانگر مستعد بودن منطقه برای خندق‌زایی می‌باشد (Abedini, 207: 116؛ 2014: 101). بر اساس جدول (۱) مقدار HTK محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه در محدوده مقادیر ۱/۲۵ الی۲/۵ قرار می‌گیرد؛ بنابراین از لحاظ ضریب هیدروترمال منطقه دارای حساسیت بالا و استعداد قوی برای خندق‌زایی دارد.

**جدول ۱- مقدار ضریب هیدروترمال**

**Table 1- The value of the hydrothermal coefficient**

| ضرایب | مقادیر |
|---|---|
| ET | ۱۸۸۷ |
| ER | ۳۳۱ |
| HTK | ۱/۷۵ |

مورفومتری خندق‌ها

برای بررسی ارتباط بین ویژگی‌های خندق با حجم آن، اطلاعات مورفومتری ده خندق انتخابی در منطقه مورد مطالعه بررسی گردید. مورفومتری شامل عمق متوسط، عرض متوسط، طول خندق و حجم خندق می‌باشد جدول

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

(۲). بر اساس داده‌های جدول، میانگین طول خندق‌ها ٦٧/٣ متر که در بین خندق‌های انتخابی کم‌ترین طول ۱۵ متر و بیش‌ترین طول ۲۱٦ متر می‌باشد. تقسیم‌بندی خندق‌های منطقه بر اساس پارامتر طول جزء خندق‌های کوچک محسوب می‌شود. انواع خندق‌ها براساس پارامتر طول به سه دسته تقسیم می‌شوند: کم‌تر از ۱۲۰ متر کوچک، بین ۱۲۰ تا ۲٤۰ متر متوسط و بیش‌تر از ۲٤۰ متر بزرگ می‌باشد (Shadfar, 2010: 83). میانگین عرض خندق‌ها ۳/٤۳ متر و میانگین عمق خندق‌ها ۲ متر می‌باشد که عمیق‌ترین خندق ۵/۹ متر و کم‌عمق‌ترین ۰/٦ متر می‌باشد. خندق‌ها را بر حسب عمق به چهار دسته: خندق‌های کوچک تا ۲ متر، متوسط ۲ تا ۵ متر، بزرگ ۵ تا ۱۰ متر تقسیم‌بندی کرده‌است. در نتیجه خندق‌های منطقه جزء خندق‌های کوچک محسوب می‌شوند.

**جدول ۲- ویژگی‌های مورفومتری خندق‌های انتخابی منطقه مورد مطالعه**

**Table 2- Morphometric characteristics of selected ditches in the study area**

| شماره خندق | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا (متر) | طول خندق (متر) | عرض‌متوسط خندق (متر) | عمق‌متوسط خندق (متر) | حجم‌خندق متر (مکعب) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ٤٦/٤٨/٥٩ | ۳۷/۱۸/۱۱ | ۱٦۸۰ | ۲۹ | ۱.۸ | ٦۰ | ۳۱/۳۲ |
| ۲ | ٤٦/٤٨/۸٥ | ۳۷/۱۷/٦۲ | ۱٦۹۳ | ۷۱ | ٦/٦۰ | ۳/۳ | ۱٥٤٦/۳۸ |
| ۳ | ٤٦/٤۸/٦۲ | ۳۷/۱۷/۸۳ | ۱٦۸۳ | ۱٥۲ | ۲/۷ | ۹٥ | ۳۸۹/۸۸ |
| ٤ | ٤٦/٤۸/۸٥ | ۳۷/۱۷/٦۲ | ۱٦۷۹ | ۱٥ | ٤/٦۰ | ۲/۲۰ | ۱٥۱/٥ |
| ٥ | ٤٦/٤۷/۳۷ | ۳۷/۲۰/٤۷ | ۱٦۸٦ | ۲۱٦ | ۷/۲۰ | ٥/۹۰ | ۹۱۷٥/٦۸ |
| ٦ | ٤٦/٥۳/۰۹ | ۳۷/۱۸/٥۲ | ۱٦۱۸ | ۲۸ | ۲/٦۰ | ۲/۲۰ | ۱٦۰/۱٦ |
| ۷ | ٤٦/٥۳/۹۷ | ۳۷/۱۲/۳۱ | ۱۸۱۲ | ٥۰ | ۲/۷۰ | ۲/۲۰ | ۲۹۷ |
| ۸ | ٤٦/٥۳/۹۷ | ۳۷/۱۲/۳۱ | ۱٥۷۱ | ٤٥ | ۱/٥۰ | ۱/٤۰ | ۹٤/٥ |
| ۹ | ٤٦/٥۷/۰۳ | ۳۷/۲۳/۰۹ | ۱٦۱۱ | ۲۰ | ۳ | ۲ | ۱۲۰ |
| ۱۰ | ٤۷/۰۹/۹۳ | ۳۷/۲۳/۲٥ | ۱٥۹٤ | ٤۷ | ۱/٦۰ | ۱/٥۰ | ۱۱۲/۸ |

نتایج حاصل از جدول (۳) نشان می‌دهد که بافت خاک در خندق‌های مورد مطالعه غالبا شنی، رسی و سیلتی می‌باشد و شن در همه خندق‌ها غالب می‌باشد. مقدار شن در خندق‌های منطقه به‌طور میانگین ٥۰ درصد است که با یافته‌های Yousefvand et al (2013) با ٦٥ درصد، Soleimanpour et al (2010) با ٥٥ درصد مبنی بر فرسایش خندقی در خاک‌های شنی مطابقت دارد. چون میزان شن نسبت به سیلت و رس بیش‌تر است باعث واگرایی خاک شده و ذرات ماسه با مجاورت آب، انسجام خود را از دست داده و در اثر واپاشی امکان فرسایش خندقی را فراهم می‌آورد. Maki et al., (2016) هم در یافته‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش مقدار ماسه نسبت به رس و سیلت فرسایش خندقی نسبت به فرسایش سطحی افزایش می‌یابد. Valentin et al., (2005) نیز معتقد است که فرسایش خندقی بیش‌تر در خاک‌های لسی، خاک‌های شنی و خاک‌های مستعد پیپ‌شدن (انحلالی) ایجاد می‌شود. مشاهدات صحرایی هم نشان داد که پیشروی در محدوده سرخندق به‌صورت حفره‌هایی صورت می‌گیرد و به خاطر نفوذپذیری زیاد شن و وجود املاح محلول، خندق از لایه‌های زیرین دچار انحلال می‌شود، سپس سطح بالای خندق یک مرتبه فرو می‌ریزد و باعث پیشروی آن می‌گردد (اشکال ۳ و ٤).

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]



شکل ۳: تشکیل خندق در اثر فرسایش تونلی

**Figure 3: Formation due to tunnel erosion**



شکل ٤: گسترش خندق در اثر فرو ریختن سقف تونل

**Figure 4: Trench formation due to tunnel erosion**



شکل ٥: نمونه‌هایی از خندق‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

**Figure 5: Examples of ditches in the study area**

جدول ۳- ویژگی‌های خاک خندق‌های انتخابی منطقه مورد مطالعه

**Table 3- Soil characteristics of selected ditches in the study area**

| خندق | رس | شن | سیلت | Mg | Ca | Na | K | آهک | ماده‌آلی | EC | PH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۳۰ | ٤٧/٥ | ۲۲/٥ | ٤٩ | ١٥ | ٦٠/٤٤ | ١٧١ | ١٩ | ٩٧٦ | ٥/٧٤ | ٨/١٢ |
| ۲ | ۲۷/٥ | ٤٧/٥ | ۲٥ | ٦٩ | ١٦ | ٤٠/٧٢ | ١٥٨ | ۲۳/٥ | ٩٨٣ | ٥/٧١ | ٨/١٥ |
| ۳ | ۳۰ | ٥٥ | ١٥ | ۲۰ | ۳۲ | ٥۰ | ١٧٤ | ۲۲/٥ | ٩٧٩ | ٥/٦٩ | ٨/١١ |
| ٤ | ۳۰ | ٥٧/٥ | ۱۲.٥ | ۳٤ | ۳۲ | ٤٠/٨٣ | ١٢٤ | ١٨/٥ | ٧٢٤ | ٥/٨٣ | ٨/٠٢ |
| ٥ | ۲۷/٥ | ٤٧/٥ | ۲٥ | ٥۰ | ۳٥ | ٦١/٤٦ | ١٠٩ | ١٩/٧٥ | ٩٧٩ | ٦٠/١ | ٨/٠١ |

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

ادامه جدول ۳- ویژگی‌های خاک خندق‌های انتخابی منطقه مورد مطالعه

Continue of table 3- Soil characteristics of selected ditches in the study area

| خندق | رس | شن | سیلت | Mg | Ca | Na | K | آهک | ماده‌آلی | EC | PH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ٦ | ٣٢/٥ | ٤٧/٥ | ٢٠ | ٢٣ | ١٧ | ٥٠/٨٥ | ٢٣٦ | ٢٣/٧٥ | ٩٨١ | ٥/٤٢ | ٨/٠٦ |
| ٧ | ٢٧/٥ | ٥٠ | ٢٢.٥ | ٦٥ | ٢٥ | ٣١/٨٢ | ١٩١ | ١٠/٥ | ٠/٥٤٦ | ٦/٠٠ | ٨/٠٧ |
| ٨ | ٢٧/٥ | ٤٧/٥ | ٢٥ | ١٤ | ١٣ | ٦٦/٤٤ | ١٧١ | ٢٤/٥ | ٩٨٣ | ٦/١١ | ٨/٠١ |
| ٩ | ٢٧/٥ | ٥٧/٥ | ١٥ | ٣٦ | ٢٤ | ٥٥/٧٤ | ١٥٨ | ٢٠/٥ | ٩٨١ | ٥/٥٠ | ٨/٠٥ |
| ١٠ | ٣٢/٥ | ٤٧/٥ | ٢٠ | ٤٨ | ١١ | ٦٦/٦٧ | ١٨١ | ٢٣/٢٥ | ٨٢٥ | ٥/٢٨ | ٨/٠٢ |

جهت بررسی ارتباط بین حجم خندق و دیگر ویژگی‌های مورفومتری خندق از روش همبستگی پیرسون و رگرسیون چندگانه استفاده شد. نتایج مربوط به همبستگی پیرسون بین حجم خندق و دیگر ویژگی‌های مورفومتری خندق در جدول (٤) آمده است. با توجه به جدول مشخص می‌شود که حجم خندق با سایر متغیرها، ضریب همبستگی مثبت و مستقیم داشته که بیش‌ترین همبستگی را با عمق خندق با مقدار (۰/۹۰٦) دارد. گسترش عمق خندق‌ها بیش‌تر به خاطر انحلال و نفوذپذیری زیاد خاک است که خندق‌ها از زیر گسترش یافته و سپس قسمت‌های رویی خاک یک مرتبه ریزش می‌کند. تراکم زیاد سازندهای مارنی با ترکیبی از آهک و گچ می‌تواند موجب عمیق شدن خندق‌ها شود. ضخامت زیاد سازندهای نرم نیز می‌تواند موجب گسترش خندق شود. با توجه به همبستگی متغیرها با حجم خندق به تحلیل روابط رگرسیونی متغیرها پرداخته می‌شود.

جدول ٤- همبستگی بین حجم خندق و دیگر ویژگی‌های مورفومتری خندق

Table 4- Correlation between moat volume and other morphometric characteristics of the moat

| پارامترها | حجم خندق | طول خندق | عرض خندق | عمق خندق |
|---|---|---|---|---|
| حجم خندق | ١ | ۰/۸۲۳ | ۰/۷٤۲ | **۰/۹۰٦** |
| طول خندق | | ١ | ۰/٥٤۹ | **۰/٦۲٥** |
| عرض خندق | | | ١ | **۰/۸۷۰** |
| عمق خندق | | | | **١** |

با توجه به نتایج جدول (٥) و ایجاد روابط رگرسیونی بین حجم خندق و سایر ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها، مقدار ضریب همبستگی برابر با ۰/۹٦۹ بوده که نشان دهنده میزان ارتباط خطی بین متغیرهای پیش‌بین (ویژگی‌های مورفومتری) و متغیر ملاک (حجم خندق) است؛ و مقدار ضریب تبیین ۰/۹۳۹ همبستگی معنی‌داری در سطح ۹٥ درصد وجود دارد.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

جدول ۵- ضریب همبستگی چندمتغیره و مجذور آن در تحلیل رگرسیون

**Table 5- Multivariate correlation coefficient and its square in regression analysis**

| مدل | R | R2 | ضریب تعیین تعدیل شده | انحراف معیار |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۹۶۹ | ۰/۹۳۹ | ۰/۹۰۸ | ۸۵۹/۵٦٦٤٦ |

نتایج جدول (٦) نشان می‌دهد که ضریب استاندارد شده‌ی رگرسیون برای متغیر عرض خندق ۰/۱۹۸- معنادار نمی‌باشد. در حالی که ضریب استاندارد شده برای متغیر طول خندق برابر ۰/٤۲۲ و متغیر عمق خندق ۰/۸۱۲ معنادار می‌باشد که این نقطه بیانگر روابط بین افزایش هدررفت خاک در خندق‌های طویل و عمیق را بیش‌تر از خندق‌های کم‌عمق نشان می‌دهد؛ بنابراین طول و عمق خندق می‌تواند حجم خندق را پیش‌بینی کند. Jafari Gerzin et al (2007: 108) و هم به این نتیجه رسیدند که حجم خندق‌ها با افزایش طول خندق و ارتفاع هدکت افزایش می‌یابد. Vanwalleghem et al (2005: 76) هم در مطالعه‌ای که بر روی خندق‌های کمربند لسی اروپا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که حجم خاک از دست رفته در خندق‌های عمیق بیش‌تر از خندق‌های کم‌عمق است؛ بنابراین با توجه به نتایج حاصل از جداول، مشخص می‌شود که مدل پیش‌بینی حجم خندق با توجه به ویژگی‌های مورفومتری از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد.

رابطه (۳) حجم خندق= -8.268+18.279-276.306+1543.282

جدول ٦- نتایج تحلیل رگرسیون استانداردشده و استاندارد نشده برای متغیرهای ویژگی‌های مورفومتری و حجم خندق

**Table 6- Results of standardized and non-standardized regression analysis for morphometric characteristics and trench volume variables**

| مدل | ضرایب استاندار نشده | | ضرایب استاندار شده | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| | B | Std. Err | Beta | | |
| (Constant) | -۲۵۰۸/۲٦۸ | ۵۵۵/۱٦٦ | | -٤/۵۱۸ | ۰/۰۰٤ |
| طول | ۱۸/۲۷۹ | ۵/٦۱۵ | .۰/٤۲۲ | ۳/۲۵٦ | ۰/۰۱۷ |
| عرض | -۲۷٦/۳۰٦ | ۲۸۵/۲٦۵ | -۰/۱۹۸ | -۰/۹٦۹ | ۰/۳۷۰ |
| عمق | ۱۵٤۳/۲۸۲ | ٤۱۵/٤۰۵ | ۰/۸۱۵ | ۳/۷۱۵ | ۰/۰۱۰ |

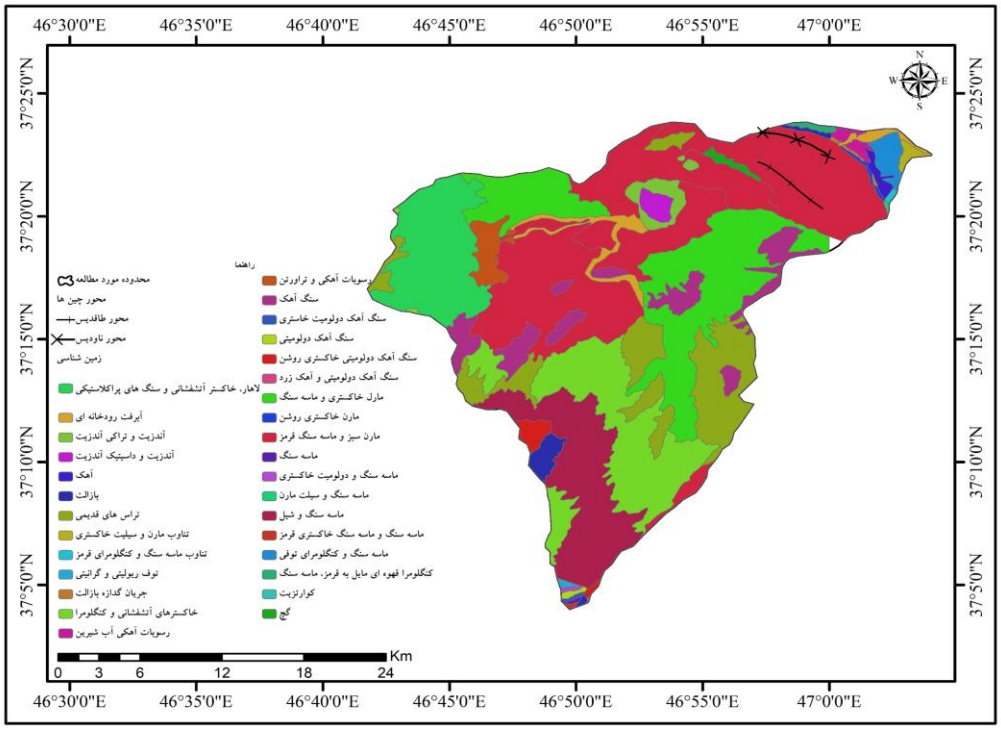
برای بررسی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و حجم خندق از روش همبستگی پیرسون و رگرسیون چندگانه استفاده شد. با توجه به جدول (۷) مشخص می‌شود که حجم خندق با سایر متغیرها همبستگی داشته که بیش‌ترین همبستگی را با EC با مقدار (۰/۷۹٦) دارد. با توجه به همبستگی ویژگی‌های خاک با حجم خندق به تحلیل روابط رگرسیونی متغیرها پرداخته می‌شود.

در جدول (۷) نتایج حاصل از همبستگی بین حجم خندق و ویژگی‌های خاک نشان می‌دهد که همبستگی بین سدیم و رشد خندق‌ها به‌صورت مثبت بوده یعنی با افزایش سدیم گسترش خندق‌ها تسریع می‌شود که با یافته‌های پژوهشی توسط Rostamizadeh and Khanbabaei (2016)، Khoja et al (2012)، Poesen et al (2003)، Nisi et al

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

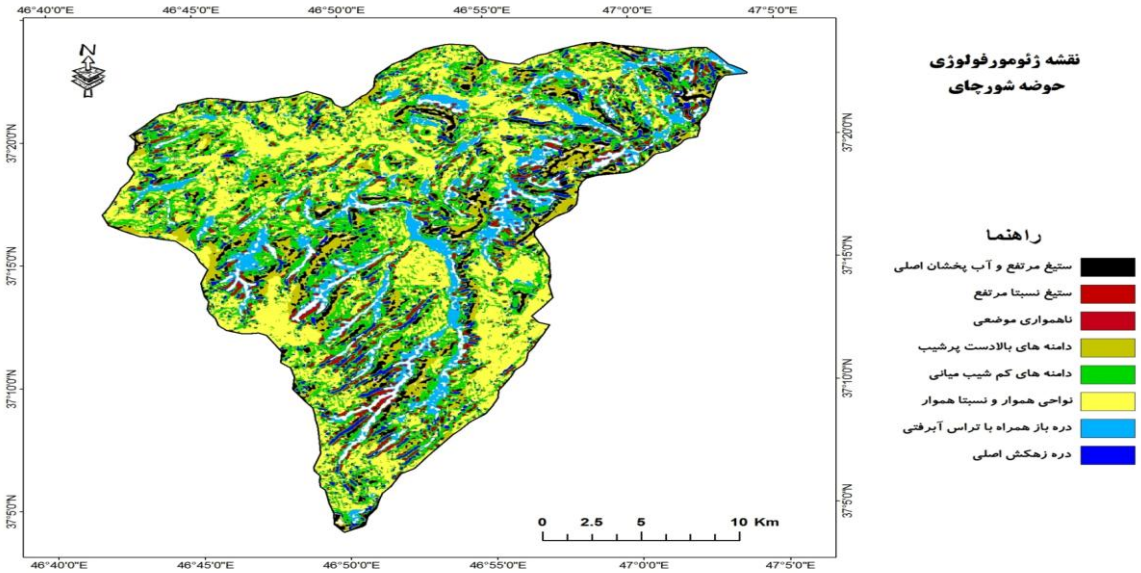
[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

(2017) مطابقت دارد. علت این امر آزاد شدن سدیم در جایگزین شدن با کلسیم یا پتاسیم و افزایش انتشارپذیری خاک و پخش شدن ذرات آن می‌شود و زمینه توسعه فرسایش خندقی را فراهم می‌سازد.




**شکل ٦: نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه شور چای**

**Figure 6: Geological map of the Chay shurchay basin**

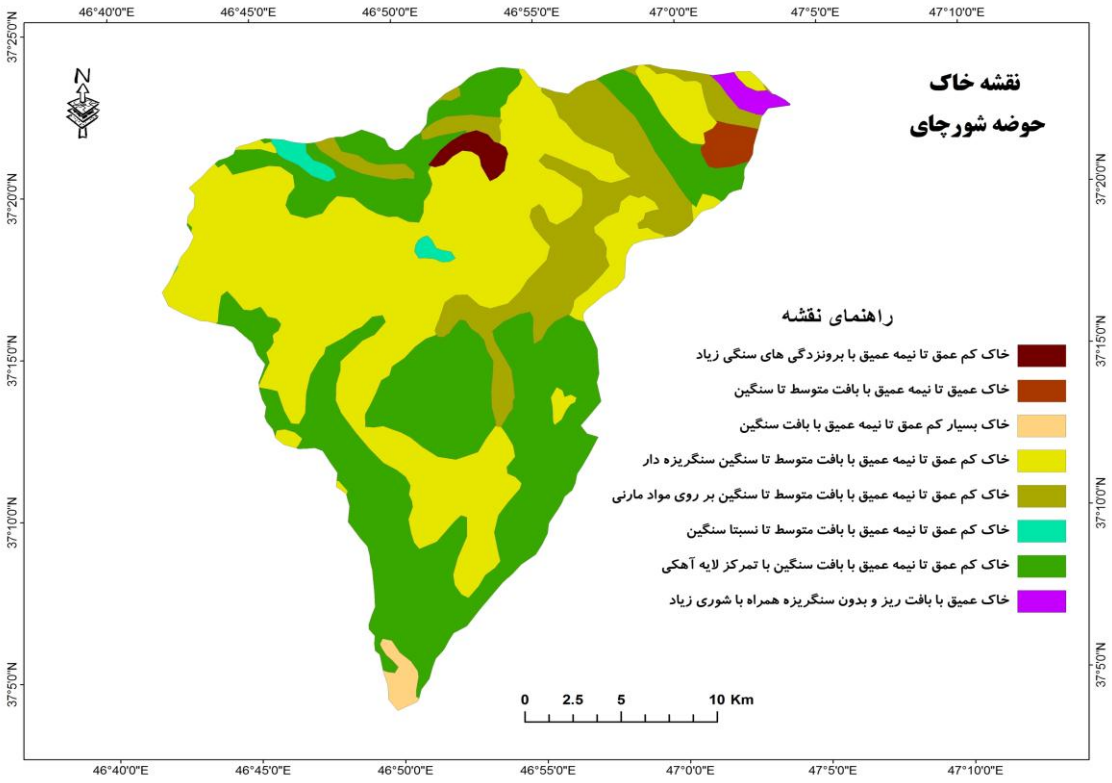



**شکل ۷: نقشه ژئومورفولوژی حوضه شورچای**

**Figure 7: Geomorphological map of the shurchay basin**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]




**شکل ۸: نقشه خاک حوضه شورچای**

**Figure 8: Soil map of Shurchay basin**

معنی‌دار بودن تأثیر کلسیم و منیزیم در نمونه‌های خاک هم نشان دهنده بالا بودن املاح زیاد و وجود لایه‌هایی با آهک و گچ بالا در خاک منطقه است. زیاد بودن املاح خاک هم باعث بالا رفتن شوری خاک و تأثیر آن بر رشد خندق‌ها می‌باشد. همبستگی بین گسترش خندق‌ها با هدایت الکتریکی نیز به‌صورت مثبت می‌باشد به طوری که با افزایش املاح محلول در خاک حجم خندق‌ها هم افزایش می‌یابد که با یافته‌های Nisi et al (2017)، Rostamizadeh and Khanbabaei (2016) مطابقت دارد. علت این امر فراهم کردن شرایط برای شکل‌گیری و گسترش فرسایش تونلی و فرو ریختن سقف تونل‌ها می‌باشد.

همبستگی منفی بین مواد آلی با حجم خندق‌ها نشان می‌دهد که افزایش مواد آلی در خاک مانع از فروپاشی خاکدانه-ها شده و با جذب آب‌های سطحی مانع از سرعت گرفتن روان آب‌ها می‌شود. رابطه بین مواد آلی، آهک و پتاسیم هم با فرسایش خندقی منفی بوده که برخلاف سدیم این مواد باعث فولکوله شدن و پایداری خاکدانه‌ها گشته و در اثر بهبود ساختمان خاک مقاومت خاک در مقابل فرسایش رواناب‌ها افزایش یافته و مانع از فرسایش خندقی می‌شود. رابطه منفی بین حجم خندق‌ها با ph خاک هم به خاطر بالا بودن این عامل در خاک‌های منطقه می‌باشد که اثر منفی بر رشد پوشش گیاهی داشته است و با کاهش پوشش گیاهی، فرسایش خندقی در منطقه افزایش یافته است.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

جدول ۷- همبستگی بین حجم خندق و ویژگی‌های خاک

**Table 7- Correlation between trench volume and soil properties**

| پارامترها | حجم خندق | Ph | Ec | مواد آلی | K | Na | CA | Mg | آهک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حجم خندق | ۱ | -۰/۲۶۳ | ۰/۷۹۶ | -۰/۱۳۵ | -۰/۵۹۹ | ۰/۶۱۹ | ۰/۵۰۶ | ۰/۲۵۵ | **-۰/۰۴۲** |
| Ph. | | ۱ | ۰/۱۴۱ | ۰/۲۹۴ | ۰/۲۵۲ | -۰/۴۱۱ | ۰/۱۵۴ | ۰/۳۷۵ | **-۰/۰۰۸** |
| Ec | | | ۱ | ۰/۵۸۵ | ۰/۴۴۹ | -۰/۱۷۸ | ۰/۳۶۱ | ۰۴۴ | **-۰/۳۹۶** |
| مواد آلی | | | | ۱ | ۰/۱۳۸ | ۰/۴۲۵ | ۰/۴۴۲ | ۰/۱۳۴ | **۰/۲۳۲** |
| K | | | | | ۱ | -۰/۰۷۶ | -۰/۵۶۸ | ۰/۲۰۸ | **۰/۱۱۵** |
| Na | | | | | | ۱ | -۰/۳۶۲ | -۰/۴۰۹ | **۰/۵۹۲** |
| Ca | | | | | | | ۱ | -۰/۰۴۷ | **-۰/۳۹۷** |
| Mg | | | | | | | | ۱ | **-/۵۰۵** |
| آهک | | | | | | | | | **۱** |

با توجه به جدول (۸) مشخص می‌شود که مقدار R برابر با ۰/۹۹۵ بوده که نشان دهنده میزان ارتباط خطی بین متغیرهای پیش‌بین (ویژگی‌های خاک) و متغیر ملاک (حجم خندق) است. مقدار R2 نشان می‌دهد که ۰/۹۹۰ درصد انحراف در متغیر حجم خندق به علت ویژگی‌های خاک بوده است. به‌عبارتی عوامل دیگری نیز وجود دارد که حجم خندق ناشی از تغییرات آن‌ها است. بعد از تعیین همبستگی بین حجم خندق به‌عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره مدل مطلوب برای پیش‌بینی حجم خندق تعیین شد. با توجه به داده‌های جدول مشخص می‌شود که این مدل با ضریب همبستگی بالا، مدل مطلوب برای پیش‌بینی حجم خندق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۸- ضریب همبستگی چندمتغیره و مجذور آن در تحلیل رگرسیون

**Table 8- Multivariate correlation coefficient and its square in regression analysis**

| مدل | R | R2 | ضریب تعیین تعدیل شده | انحراف معیار |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۰ | ۰/۹۱۰ | ۸۵۱/۳۰۱۲۱ |

بنابراین با توجه به نتایج حاصل از ایجاد روابط رگرسیونی بین حجم خندق‌ها با ویژگی‌های خاک ملاحظه می‌شود که با ضریب تبیین بالا همبستگی معناداری در سطح ۹۵ درصد وجود دارد که حاکی از زیاد بودن خاصیت انتشارپذیری خاک در محل تشکیل خندق و شکل‌گیری فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در نتیجه مدل پیش‌بینی حجم خندق با توجه به ویژگی‌های خاک از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد. قابل ذکر است که Rostamizadeh and Khanbabaei (2016)، Makram and Mahmoudi (2016) هم به این نتیجه رسیدند که از مدل رگرسیون خطی و چند متغیره برای پیش‌بینی گسترش خندق می‌توان استفاده نمود. از روش‌های دیگری مانند شبکه‌های عصبی و رگرسیون‌های غیرخطی از جمله رگرسیون لجستیک هم می‌توان در این زمینه استفاده کرد.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

حجم خندق=152762.279-27702.176+41.523-34.333+579.228+56.119+183.009+394.357+213.521

**جدول ۹- نتایج تحلیل رگرسیون استانداردشده و استاندارد نشده برای متغیرهای ویژگی‌های خاک و حجم خندق**

**Table 9- Results of standardized and non-standardized regression analysis for the characteristics of soil properties and trench volume**

| مدل | ضرایب استاندارد نشده | | ضرایب استاندارد شده |
|---|---|---|---|
| | B | Std.Error | Beta |
| مقدار ثابت | ۱۵۲۷۶۲/۲۷۹ | ۷۵۰۴۰/۵۸۳ | |
| Ph | -۲۷۷۰۲/۱۷۶ | ۹۰۵۶/۳۲۵ | -۰/۴۸۹ |
| Ec | ۴۱/۵۲۳ | ۱۷/۸۹۱ | ۰/۳۹۶ |
| مواد آلی | -۳۴/۳۳۳ | ۲۰/۳۹۸ | -۰/۳۱۱ |
| K | ۵۷۹/۲۲۸ | ۱۲۷/۹۷۱ | ۰/۸۴۵ |
| Na | ۵۶/۱۱۹ | ۱۶/۱۵۶ | ۰/۶۹۲ |
| Ca | ۱۸۳/۰۰۹ | ۴۰/۴۹۶ | ۰/۷۶۴ |
| Mg | ۳۹۴/۳۵۷ | ۶۳/۵۰۷ | ۱/۲۲۲ |
| آهک | ۲۱۳/۵۲۱ | ۳۰/۸۶۰ | ۱/۴۰۳ |

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه فرسایش خندقی از اهمیت و گستردگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است که موجب تخریب مزارع، مراتع، راه‌های ارتباطی و غیره شده است. تراکم زیاد خندق‌ها در نقاط کم شیب میانکوهی و در اطراف تراس‌های آبرفتی جدید باعث نابودی و فرسایش خاک‌های حاصلخیز شده و کارکرد ماشین‌الات کشاورزی را با مشکل مواجه ساخته است. عوامل مختلفی در ایجاد و گسترش خندق‌ها تاثیر دارند که از بین آن‌ها عوامل اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. نتایج حاصل از برخی شاخص‌های اقلیمی نظیر ضریب هیدروترمال (HTK) وجود استعداد خندق‌زایی در منطقه را تایید می‌کند و نشان می‌دهد که منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر پارامترهای اقلیمی استعداد بالایی را جهت فرسایش خندقی دارد. نتایج حاصل از مورفومتری خندق‌ها با استفاده از روش‌های رگرسیونی نشان می‌دهد که حجم خندق با عمق خندق همبستگی زیاد و ارتباط مستقیم دارد، به طوری که از بین پارامترهای مورفومتری (عرض، عمق، طول و حجم) عمق و طول خندق ارتباط بیش‌تری با حجم خندق و میزان هدر رفت خاک دارد. نتایج حاصل از همبستگی بین حجم خندق و ویژگی‌های خاک نشان می‌دهد که همبستگی بین حجم خندق با پارامترهای سدیم و هدایت الکتریکی به‌صورت مثبت می‌باشد و بالا بودن این پارامترها موجب پخش شدن خاک و گسترش حجم خندق‌ها می‌باشد. نتایج این قسمت با نتایج Rostamizadeh and Khanbabaei (2016), Khoja et al (2012)، Poesen et al (203) و Rezaei (2016) مطابقت دارد. علت این امر آزاد شدن سدیم در جایگزین شدن با کلسیم یا پتاسیم و افزایش انتشارپذیری خاک و پخش شدن ذرات آن می‌شود و زمینه توسعه فرسایش خندقی را فراهم می‌سازد. همبستگی بین

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

گسترش خندق‌ها با هدایت الکتریکی نیز به‌صورت مثبت می‌باشد به طوری که با افزایش املاح محلول در خاک حجم خندق‌ها هم زیاد می‌شود. همبستگی منفی بین حجم خندق‌ها با مواد آلی نشان می‌دهد که مواد آلی مانع فروپاشی خاک در برابر آب‌های بارندگی می‌شود. رابطه منفی بین آهک و فرسایش خندق‌ها هم نشان می‌دهد که آهک باعث پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک شده و مانع فرسایش خندقی می‌شود. بافت خاک در خندق‌های مورد مطالعه بافت شنی، رسی و سیلتی می‌باشد و شن در همه خندق‌ها غالب می‌باشد. بالا بودن شن موجب واپاشی خاک شده و ذرات ماسه با مجاورت آب انسجام خود را از دست می‌دهد و امکان توسعه خندق‌ها را فراهم می‌آورد. مطالعات میدانی هم نشان داد که پیشروی در محدوده سر خندق به‌صورت حفره‌هایی صورت می-گیرد و به خاطر نفوذپذیری زیاد شن و وجود املاح زیاد، خندق از لایه‌های زیرین دچار انحلال می‌شود و سپس سطح بالای خندق یک مرتبه فرو می‌ریزد و باعث پیشروی آن می‌گردد. نتایج این قسمت با نتایج Valentin (2005) و Maki et al (2016) مطابقت دارد.

خندق‌های مورد بررسی در این تحقیق با عمق میانگین ۲ متر و طول میانگین ٦٧ متر در گروه خندق‌های کم‌عمق و کوچک از نوع جبهه‌ای و پنجه‌ای می‌باشند. باتوجه به نتایج حاصل از جداول همبستگی و تجزیه‌وتحلیل رگرسیونی ارتباط بین حجم خندق به‌عنوان متغیر وابسته با دیگر پارامترهای مورفولوژی خندق و ویژگی‌های خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل مشخص گردید که حجم خندق تابعی از عمق و طول خندق، درصد سدیم خاک، هدایت الکتریکی، کلسیم و منیزیم می‌باشد و معنادار بودن این ویژگی‌ها نشان دهنده بالا بودن املاح زیاد خاک و وجود لایه‌های نمکی و گچی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد که موجب انحلال و انتشارپذیری خاک شده است. گسترش خندق‌ها در داخل زمین‌های کشاورزی موجب تخریب مزارع شده و غیر قابل استفاده بودن آن‌ها شده است. مهم‌ترین راهکار برای جلوگیری از رشد و گسترش خندق‌ها اقدامات آبخیزداری به‌منظور کنترل رواناب‌ها در بلندمدت همراه با اجرای برنامه‌های مدیریتی در زمینه اصلاح خاک می‌باشد. با توجه به این‌که بیش‌تر خندق‌ها در پایین تپه‌های مارنی (به خاطر املاح زیاد نمک) قرار گرفته‌اند، پیشنهاد می‌شود اقدامات لازم از جمله کاشت گیاهانی که سدیم را در اندام‌های خود ذخیره می‌کنند در قسمت-های بالادست خندق‌ها انجام گیرد. از محدودیت‌های این پژوهش هزینه بالای آزمایشگاهی نمونه‌های خاک بود که به همین دلیل فقط آن دسته از پارامترهای شیمیایی خاک که بیش‌ترین تأثیر را در فرسایش خندقی دارند، در نظر گرفته شد.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

## References

- Abedini, M., (2005), "A study on trench erosion of the Southwest heights of Hadiyashahr plain (Northwest of East Azerbaijan) through new methods and techniques", ***Journal of Geography and Development***, 113-134. [In Persian].
- Abedini, M., (2013), "Quantitative analysis of trench erosion in Kalghaneh Chay watershed (East of Sahand)", ***Journal of Geography and Urban-Regional Planning***, 7: 97-110. [In Persian].
- Addis, H. K., Adugna, B., Gebretsadik, M., (2015), "***Gully morphology and rehabilitation measures in different agroecological environments of North western Ethiopia***", Hindawi: Adisababa.
- Conocentia, C., Angileria,S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Agnesia, V., Marker, M., (2013), "Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS based logistic regression a case of sicily (italy), ***Geomorphology***, 63: 1-13
- Danladi, A., Ray, H. H., (2014), "Analysis of some Soil properties along gully erosion sites underdifferent land use areas of Gombe Metropolis, Gombe state, Nigeria", ***Journal of Geography and Regional planning***, 7: 86-96.
- Ehis, O. S., Omougbo, UN., (2013), "Evaluating factors responsibl for gully Development at the University of Bennin", ***Jornal of emerging terend in engineering and applied science***, 4: 707-713.
- Hosseinzadeh, M., Nosrati, K., Khalaji, S., Darfashi, K., (2016), "The spread of moat erosion and its classification in Robat-e-Turk Delijan watershed", ***Quantitative Geomorphological Research***, 2: 141-160. [In Persian].
- Ismail Nejad, L., Mohamadi, S. J., Bakhshipour, R., (2012), "The effect of physical, chemical and mineralogical properties of soil on the morphology of gorges in marl lands of southern Guilan province", ***Watershed Management Research***, 97: 7-16. [In Persian].
- Jafari Gerzin, B., Doomehri, R., Safaei, M., Ahmadian, H., (2007), "Introduction of models for predicting trench volume growth (Case study: Sorkhabad-Mazandaran watershed)", ***Research and construction in natural resources***, 7: 108-117. [In Persian].
- Jahan Tigh, M., Tabe, M., (2016), "Comparison of soil physicochemical properties and morphology of trapezoidal and V-shaped ditches with different uses in arid areas, a case study: Hossein Zehi and Nalint areas of Chabahar city", ***Journal Watershed Engineering and Management***, 3: 308-317.
- Khoja, N., Ghodoosi, J., Ismaili, R., (2012), "The study of the relationship between physical and chemical properties of soil and the spread of moat erosion in the watershed of Golestan Province", ***Journal of Watershed Management***, 5: 27-40. [In Persian].
- Mallam, I., Iguisi, E. O., Tasiu,Y. U., (2016), "An assessment of gully erosion in Kano metropolis", ***Nigeria, agricultural science***, 5: 14-27.
- Maki, S., Rezaei, P., followers, H., (2016), "Investigation of factors affecting water erosion in aqueous sediments of Mishan and Aghajari formations in the west of Bandar Abbas", ***Environmental Erosion Research***, 21: 30-51. [In Persian].
- Makram, M., Mahmoudi, A., (2016), "Investigation of morphometric characteristics of ditches and its relationship with soil characteristics", ***Quantitative Geomorphological Research***, 3: 145-154. [In Persian].
- Moghimi, A., Salami, N., (2011), "Geomorphological mechanism of moat formation and development in the northern slope of Khoroslu Gheshlagh Haj Mohammad located in– Ardebil", ***Sarzamin Geographical Quarterly***, 30: 49-61. [In Persian].

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]

- Nisi, S., Khalili Moghadam, B., Zartipour, A., (2017), "Modeling the factors affecting the longitudinal growth of marl ditches and determining the share of sediment production from them (Case study: Khuzestan treasury door area)", ***Rangeland and watershed management***, 2: 531-541. [In Persian].
- Nohehgar, A., Heidarzadeh, M., (2011), "Study of physico-chemical properties and morphometry of trench areas (Case study: Gozir, Hormozgan Province)", ***Environmental Erosion Research***, 1: 29-44. [In Persian].
- Oparaku, L. A., Iwar, R. T., (2018), "Relationships between average gully depths and widths on geological sediments underlying the Idah-Ankpa Plateau of the North Central Nigeria", ***Intenational Soil and Water Conservation Researc***h, 6 (1): 43-50.
- Oyegun, CU., Erekaha, U., Eludoyin, OS., (2016), "Gully characterization and Soil properties in selected communities in ideato south Loga, imostate, Nigeria, ***Nature and Science***; 14: 78-86.
- Poesen, J., Nachtorgale, J., Verstrac, G., (2003), "Gully erosion and environmental change: importance and research needs", ***Catena***, 50: 91-133.
- Rezaei, Kh., (2016), "The effect of physicochemical properties of marlins on their erodibility using rain simulator in Nobaran area of Saveh", ***Quantitative Geomorphological Research***, 3: 52-66. [In Persian].
- Rostamizadeh, AH., Khanbabaei, Z., (2016), "Evaluation of the effect of physical-chemical properties of soil on the spread of moat erosion (Case study of Darhshahr city)", ***Journal of Environment and Water Engineering***, 4: 376-389. [In Persian].
- Shadfar, P., (2010), "***Introduction to Trench Erosion***", Select Publishing: Tehran. [In Persian].
- Shit, PK., Bhunia., GS., Maiti, R., (2013), "Assessment of factors affecting ephemeral gully development in badland , west Bengal, india", ***International Journal of SGeoScience***, 4: 461-470
- Soleimanpour, M., Sufi, M., Ahmadi, H., (2010), "Study of topographic thresholds and factors affecting sedimentation and expansion of ditches in Neyriz region of Fars province", ***Journal of Rangeland and Watershed Management***, 1: 53-41. [In Persian].
- Valentin, C., Poesen, J., Yong, L., (2005), "Gully erosion, impact, factors and control", ***Catena***, 63: 132-153
- Vanwalleghem, T., Poesen, J., Nachtergaele., G., Verstraeten., S., (2005), "Characteristics, controlling factors and importance of deep gullies under cropland on loess-derived soils", ***Geomorph0logy***, 69: 76-91.
- Yousefvand, Sh., Habibnejad, M., Soleimani, K., Rezaei Pasha, M., (2013), "The effect of soil and geological factors on gutter erosion (Case study: Seifabad Lorestan watershed)", ***Journal of Agricultural Science and Technology and Resources Natural***, 65: 138-151.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.1.9 ]