

Analyzing and Investigating Effective Factors on Creating and Promoting Gully Erosions in Shorchay Watershed

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Besharati B.¹ MA

Abedini M.* PhD

Asghari S.² PhD

How to cite this article

Besharati B, Abedini M, Asghari S. Analyzing and investigating effective factors on creating and promoting gully erosions in shorchay watershed. Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(2):206-222.

¹Department of Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

*Department of Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

²Department of Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

*Correspondence

Address: Department of Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Phone: -

Fax: -

Abedini@uma.ac.ir

Article History

Received: October 9, 2017

Accepted: July 17, 2018

ePublished: September 17, 2018

ABSTRACT

Introduction and Background Gully erosion is one of the most advanced kind of water erosion that carries a lot of sediment and causes various environmental challenges. Therefore, identifying and investigating of effective factors is necessary on forming and promoting of erosion in study area.

Aims The aim of this study is to evaluate the factors influencing on dynamic of area Gullies in a one year time period.

Methodology In this study, electrical conductivity, sodium absorption ratio, PH, soil type and WS index has been used for analyzing of gully erosion potential.

Conclusion Results indicate that according to WS index the study basin has much potential for gully erosion as of gullies morphometry indicates much speed of promotion of gullies, laboratory results of sample soils of soluble minerals, SAR, electrical conductivity, the amount of sodium in soil are effective on piping erosion are the most important effective factors on formation and promotion of gully erosion and morphometric characteristics of gullies. It is thought from the results of study that physical and chemical conditions of soil and rainfall have been effective on soil erosion and gullies development from length and width.

Keywords Gully Erosion; Morphometry; Physical and Chemical Characteristics of Soil; Shorchay Basin

CITATION LINKS

[Abedini; 2009] Quantity study on hydrogeomorphological issues of Lykwan Chai river with emphasis on ...; [Abedini; 2013] Quantitative analysis of gully erosion in Kalghan-Chaj basin ...; [Ahmadi; 1999] Applied geomorphology ...; [Asghari Saraskanroud; 2017] Analysis of affecting factors on creating gully in the eastern shores of ...; [Bayati Khatibi, et al; 2011] Study of topographic thresholds and analysis of the role of type of surface formation in the development of gullies in the mountains of semi-aride ...; [Conoscenti et al; 2014] Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression ...; [Danladi & Ray; 2014] An analysis of some soil properties along gully erosion sites under different land use areas of Gombe ...; [Deng, et al; 2015] Planar morphology and controlling factors of the gullies in the Yuanmou ...; [Ehiz & Omougbo; 2013] Evaluating factors responsible for gully development at the University ...; [Feizenya, et al; 2007] The study of the gully erosion of the Aghajari marlian formation in ...; [Ghodousi & Davari-Rad; 2012] The Effect of physical and chemical properties of soil in gully erosion event ...; [Ismail-Nejad, et al; 2012] The effect of physical, chemical and soil physiological properties on the ...; [Jahanatigh & Tabeh; 2017] Comparing soil physico-chemical characteristics and trapezoidal and v-shaped gully ...; [Kardel & Tajari; 2015] Influence of gully erosion on soil moisture of abandoned farming dry land and rangeland in ...; [Khoojeh, et al; 2012] Investigation of the relation of soil physiochemical characteristics and initiation and expansion of gully erosion in Temer ...; [Mallam, et al; 2016] An assessment of gully erosion in kano ...; [Mohammad Ebrahimi & Vafakhah; 2015] Investigation of the role of soil and non-soil parameters in development of linear gully erosion in Agh ...; [Noheghar & Heidarzadeh; 2011] Study of physico-chemical and morphometric properties of gully ...; [Oparaku & Iwar; 2018] Relationships between average gully depths and widths on geological sediments underlying the Idah-Ankpa Plateau of the North ...; [Oyegun, et al; 2016] Gully characterization and soil properties in selected communities in Ideato South ...; [Poesen et al; 2002] Gully Erosion in ...; [Refahi; 2009] Water erosion and its control ...; [Rienks, et al; 2000] Some physical and chemical properties of sediments exposed in a ...; [Servati, et al; 2008] Effective factors in the formation and expansion of ...; [Shadfar; 2010] Introduction to gully erosion ...; [Shahrivar, et al; 2012] Roles of SAR and EC in gully ...; [Shit, et al; 2013] Assessment of factors affecting ephemeral gully development ...; [Tebebu et al; 2010] Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion ...; [Valentin, et al; 2005] Gully erosion: Impacts, factors and ...; [Yousefwand, et al; 2013] Lithological and geological impacts on gully erosion ...

بررسی و تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر ایجاد و توسعه فرسایش خندقی در حوضه آبخیز شورچای

پذیرش نهایی: ۹۷/۴/۲۶

دریافت مقاله: ۹۶/۷/۱۷

DOI: 10.29252/geores.33.2.206

چکیده

مقدمه: فرسایش خندقی یکی از پیشرفته‌ترین نوع فرسایش آبی است که مقدار زیادی رسوب را با خود حمل می‌کند و باعث ایجاد چالش‌های مختلف زیست‌محیطی می‌شود.

هدف: این تحقیق ارزیابی میزان رشد و عوامل مؤثر در ایجاد خندق‌های منطقه در بازه زمانی یک‌ساله می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از مقادیر هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، PH، نوع بافت خاک و از شاخص‌های اقلیمی (WS) برای تحلیل استعداد خندق‌زایی منطقه استفاده شده است.

نتیجه‌گیری: بر مبنای شاخص WS حوضه مورد مطالعه استعداد زیادی برای فرسایش خندقی دارد. به طوری که مورفومتری خندق‌ها هم بیانگر سرعت رشد زیاد آن‌ها می‌باشد. نتایج آزمایشگاهی خاک‌های برداشت‌شده از منطقه نشان می‌دهد که نوع سازند، بافت خاک، ساختمان ضعیف خاک‌دانه‌ها، بالا بودن میزان نمک‌های محلول، به‌ویژه مقادیر بالای SAR، هدایت الکتریکی، میزان سدیم جذب‌شده موجود در خاک که مؤثر در رخداد فرسایش تونلی نیز هستند، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی و مشخصات مورفومتریک خندق‌ها می‌باشند. به‌طور کلی شکل‌گیری فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه از یک طرف تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه و از طرف دیگر تحت تأثیر ویژگی‌های اقلیمی قرار دارد.

واژگان کلیدی: فرسایش خندقی، مورفومتری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، حوضه شورچای

مقدمه

فرسایش آبی با اشکال مختلفی بر روی زمین ظاهر می‌شود که یکی از پیشرفته‌ترین آن فرسایش خندقی می‌باشد و از عوامل اصلی تخریب زمین محسوب می‌شود که با افزایش جمعیت جهان تشدید می‌شود. فرسایش خندقی به دلیل تولید رسوب و خسارات زیادی که در نتیجه فعالیت‌های انسانی وارد می‌کند از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی توسعه فرسایش خندقی موجب انباشت مواد در پشت سدها و خسارات فراوان به زمین‌های کشاورزی، تخریب جاده‌ها و شبکه‌های آبیاری می‌شود. با توجه به اینکه بخش زیادی از تلفات خاک مربوط به این نوع فرسایش است و نقش بازدارنده‌ای در توسعه و پیشرفت حوضه‌های آبخیز دارد، شناسایی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی یکی از ابزارهای اساسی جهت مدیریت این پدیده در

منطقه مورد مطالعه می‌باشد. خندق، آبراهه‌ای است نسبتاً دائمی که جریان‌های موقت آب در هنگام بارندگی از آن می‌گذرد و مقدار بسیار زیادی رسوب در خود حمل می‌کند. به‌طور کلی وقتی آبراهه‌های فرسایش یافته در سطح زمین به اندازه‌ای بزرگ باشد که نتوان آن‌ها را به‌وسیله عملیات کشت و زرع معمولی تسطیح کرد خندق نامیده می‌شود (Refahi, 2009). ایجاد یک فرورفتگی در سطح توپوگرافی باعث تمرکز آب‌های سطحی شده و در اثر انحلال مواد، حفره‌هایی در خاک تشکیل می‌شود و با توسعه کانال و ریزش سقف بریدگی عمودی تشکیل می‌گردد (Feizenya, Heshmati, Ahmadi, & Ghodousi, 2007). عوامل اصلی کنترل‌کننده شرایط بحرانی برای فرسایش خندقی عبارت‌اند از؛ بارش، توپوگرافی، ویژگی‌های خاک و سنگ‌شناسی. این نوع فرسایش زمانی اتفاق می‌افتد که آستانه‌های ژئومورفولوژیکی در اثر افزایش جریان آب و فرسایش‌پذیری رسوب در منطقه از بین بروند (Conoscenti et al., 2014). تغییرات کاربری زمین و تغییرات شدید آب‌وهوایی هم می‌تواند منجر به ایجاد خندق شود (Valentin, Poesen, Li, 2005). فرسایش خندقی هم دارای اثرات محلی شامل از دست دادن حاصلخیزی خاک و کاهش ظرفیت نگهداری آب و هم اثرات برون منطقه‌ای شامل پر شدن مخازن سدها و دریاچه‌ها می‌باشد (Tebebu et al., 2010). یکی از عمده‌ترین عوامل افزایش بار رسوب در رودخانه‌های جاری در نواحی نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Bayati Khatibi, Rajabi, Karami, 2011). گسترش خندق‌ها موجب تخریب زمین، هدر رفت خاک زمین‌های کشاورزی مرغوب، تحمل هزینه‌های اصلاح زمین، تغییر بازده آبیاری و کاهش رطوبت خاک می‌شوند. همچنین تخریب پوشش گیاهی، تشدید فرایندهای بیابان‌زایی، افت آب‌های زیرزمینی و سرانجام افزایش مواد دامنه‌ای از دیگر اثرات مخرب خندق‌هاست (Kardel, Tajari, 2015). علی‌رغم اهمیت فرسایش خندقی در تولید رسوب و تخریب زمین‌های کشاورزی در حوضه شورچای توجه چندانی به این فرسایش نشده است، توسعه خندق‌ها می‌تواند بهره‌برداری از زمین را مختل کند و موجب انباشت رسوبات در سدها و بندهای احداث شده شود و باعث مهاجرت ساکنین روستاها شود. بنابراین لزوم بررسی و مطالعه این فرسایش و دلایل ایجاد و تعیین عوامل مؤثر ضروری به نظر می‌رسد. برای همین امر مطالعات گسترده‌ای در رابطه با فرسایش خندقی در خارج و داخل کشور انجام گرفته است.

ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها را با استفاده از سنجش‌ازدور مورد مطالعه قراردادند و به این نتیجه رسیده‌اند که در شکل‌گیری خندق‌های اراضی لسی نوع سازند، عمق خاک، میزان املاح محلول، SAR، هدایت الکتریکی و میزان سدیم قابل تبادل بیشترین تأثیر را دارند (Servati, Ghodousi, & Dadkhah, 2008). عابدینی (۱۳۸۸) در پژوهشی در حوضه لیکوان‌چای اردبیل با استفاده از روش‌های مورفومتری و شاخص‌های هیدرو اقلیمی (HTK, WS) و مدل‌های برآورد رسوب فورنی، آرنولد و آرنولدوس و تعیین روابط همبستگی ابعاد مختلف خندق‌ها، نتایج نشانگر توسعه خندق‌ها و استعداد منطقه به خندق‌زایی و میزان رسوب‌دهی بالا (متوسط میزان فرسایش خاک ۲۵۳/۷۹ تن در هکتار و مجموع کل فرسایش سالانه خاک در این حوضه ۵۵۵۲۸۴۵ ton/ha/y) نشانگر توسعه خندق‌ها و شدت فرسایش خاک بوده است (Abedini, 2009). نوحه‌گر و حیدر زاده (۱۳۹۰) به مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و مورفومتری مناطق خندقی در استان هرمزگان پرداخته‌اند. برای بررسی وضعیت فرسایش منطقه از روش‌های مورفومتری خندق‌ها و آزمایش‌های خاک‌شناسی برای تعیین درصد رس، سیلت، آهک، میزان شوری، pH، SAR خاک استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که افزایش درصد سیلت و رس زمینه‌ساز فرسایش خندقی بوده است (Nohegar & Heidarzadeh, 2011). اسماعیل نژاد و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی خاک بر مورفولوژی خندق‌ها در اراضی مارنی جنوب استان گیلان را مورد مطالعه قرار داده‌اند. با انتخاب خندق‌ها و نمونه‌گیری از خاک قسمت‌های مختلف خندق و انجام آزمایش‌های خاک بر روی نمونه‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که شکل‌گیری و ایجاد انواع خندق‌ها تابعی از میزان رس خاک و

نوع رس و میزان سدیم محلول تبدلی بوده است (Ismail-Nejad, Sayed-Mohammadi, & Bakhshipour, 2012). خوجه و همکاران (۱۳۹۱) ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در گسترش فرسایش خندقی در استان گلستان را بررسی کردند. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اقدام به نمونه برداری خاک خندقها گردیده است و ارتباط ویژگیهای خاک و رشد خندقها را با استفاده از مدل رگرسیونی ارائه کرده‌اند. نتایج تحقیق نقش مؤثر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه میزان سیلت، املاح محلول و درجه اشباع خاک در شکل گیری و گسترش فرسایش خندقی در سازند لسی را نشان می‌دهد (Khoojeh, Ghodousi, & Esmaeili, 2012). عابدینی (۱۳۹۲) با استفاده از روش‌های مورفومتری و شاخص‌های هیدرو اقلیمی و روابط رگرسیونی درباره خندق‌زایی در حوضه کلفان‌چای در دامنه سهند کار کرده و نتایج نشان می‌دهد که خندق‌زایی در منطقه بالا و متوسط میزان فرسایش خاک ۲۹۱/۵۱ تن در هکتار و مجموع کل فرسایش سالانه خاک در این حوضه ۲۲۴۴۶۲۷۰ ton/ha/y به همراه شواهد میدانی حاکی از توسعه خندقها و شدت فرسایش خاک در حوضه است (Abedini, 2013). محمدابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی ارتباط عوامل مؤثر خاکی و غیرخاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی حوضه آق امام در استان گلستان پرداخته‌اند. در این تحقیق از طریق آزمون مقایسه میانگین نمونه به روش t-student نتیجه گرفته‌اند که از بین خصوصیات خاک درصد رس (سطحی و زیرسطحی)، درصد سیلت، درصد رطوبت اشباع، کربن آلی و آهک سطحی و زیرسطحی و از بین فاکتورهای غیرخاکی لیتولوژی سازند لسی در ایجاد فرسایش خندقی منطقه نقش مؤثری دارند (Mohammad Ebrahimi & Vafakhah, 2015). اصغری (۱۳۹۶) به تحلیل عوامل مؤثر بر خندق‌زایی در حاشیه شرقی سواحل دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های مورفومتری و آزمایشگاهی به این نتیجه رسیده است که شکل‌گیری فرسایش خندقی در منطقه تحت تأثیر عوامل اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه به خصوص بالا بودن مقادیر زیاد (EC و SAR) می‌باشد (Asghari Saraskanroud, 2017). اهیز و اوموگبو^۱ (۲۰۱۳) به ارزیابی عوامل مؤثر در توسعه فرسایش خندقی در دانشگاه بنین در ایالت نیجریه پرداخته‌اند. در این تحقیق با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک، به بررسی توزیع درصد اندازه ذرات و بررسی نفوذپذیری به این نتیجه رسیدند که زهکش‌های نامناسب انتهایی محتوی کم رس، شرایط توپوگرافی خاص، فقدان پوشش گیاهی و استفاده نامناسب از زمین مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش خندقی در این منطقه می‌باشند (Ehiz & Omougbo, 2013). شیت^۲ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی عوامل مؤثر بر توسعه خندق‌های موقت در زمین‌های بدلد در هندوستان پرداخته‌اند. پس از انتخاب دوازده خندق به‌طور تصادفی با استفاده از روش‌های مورفومتری ابعاد مختلف خندقها را در فصل‌های مختلف جهت رشد هندسی آنها و هدر رفت خاک اندازه‌گیری نمودند. نتایج تحقیق نشان داد ارتباط شدیدی بین متغیرهای شدت بارش، حجم روان آب و شیب دامنه با توسعه خندقها وجود دارد (Shit, Bhunia, & Maiti, 2013). دانلادی و ری^۳ (۲۰۱۴) به مطالعه و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با فرسایش خندقی در کاربری‌های مختلف در کلان‌شهر گامبی در نیجریه با استفاده از تحلیل واریانس آنها به این نتیجه رسیده‌اند که بالا بودن مقدار شن و پایین بودن سیلت و رس در نمونه‌های خاک برداشت‌شده از عمق‌های مختلف در کاربری‌های متفاوت موجب از هم پاشیدن خاک به خاطر ناپیوستگی ذرات در مقابل سیلاب‌های شدید شده و زمینه را برای گسترش عرضی و عمقی خندقها فراهم نموده است (Danladi & Ray, 2014). مالام^۴ و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه و ارزیابی فرسایش خندقی در کلان‌شهر کانو در نیجریه پرداخته‌اند و با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی نمونه‌های برداشت‌شده و مورفومتری خندقها به این نتیجه رسیده‌اند که

1 Ehiz and Omougbo

2 Shit

3 Danladi and Ray

4 Mallam

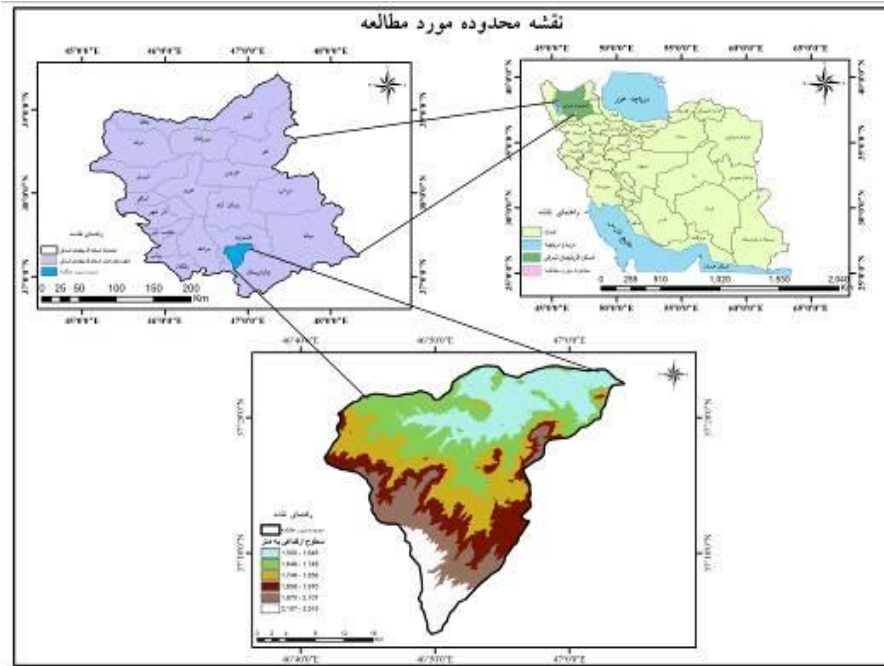
کیفیت خاک در منطقه شرایط مساعدی را برای گسترش و پیشروی عمق، طول و عرض خندق‌ها فراهم نموده است و میزان گسترش خندق‌ها از ناحیه هدکت به‌طور متوسط ۳ تا ۷ متر می‌باشد (Mallam, Iguisi, & Tasiu, 2016).

اپراکو و لاور^۱ (۲۰۱۸) به مطالعه و بررسی ارتباط بین عمق و عرض خندق‌ها در سازندهای زمین‌شناسی متفاوت در شمال نیجریه مرکزی با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون دومتغیره پرداخته‌اند. نتایج حاصل نشان‌دهنده ارتباط معنی‌داری بین عمق خندق و عرض خندق در سازندهای زمین‌شناسی فرسایش‌پذیر در سطح احتمال (R= 0.565, P < 0.01) وجود دارد. در خندق‌های عمیق در سازندهای فرسایش‌پذیر همبستگی عمق با عرض کاهش می‌یابد، درحالی‌که در رسوبات مقاوم همبستگی عمق با عرض خندق افزایش می‌یابد (Oparaku & Iwar, 2018).

حوضه شورچای در این پژوهش یکی از مناطق فعال فرسایش خندقی محسوب می‌شود، به‌طوری‌که گسترش خندق در طول سال کاملاً مشهود است و موجب تخریب مزارع، جاده‌ها، هدر رفت خاک و تولید رسوب در پشت سدها و بندهای منطقه می‌شود و با توجه به اینکه روستاهای زیادی در این منطقه واقع شده‌اند نابودی خاک می‌تواند موجب مهاجرت روستاییان و متروک شدن آن‌ها شود، لازم است تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد. در اثر توسعه و تشکیل خندق‌ها در منطقه مقدار زیادی از خاک‌های قابل کشت سطوح شیب‌دار در شبکه‌های زهکشی قرار می‌گیرد. از این‌رو شناسایی و بررسی عوامل مؤثر در فرسایش خندقی منطقه و تعیین اثرگذاری هر یک از عوامل منجر به تولید اطلاعات ارزشمند جهت پیش‌بینی، مهار و کاهش خسارات وارده می‌شود. در این تحقیق علاوه بر شناسایی رشد و توسعه خندق‌ها در بازه زمانی یک‌ساله سعی شده است ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های حوضه مورد مطالعه در جهت ایجاد خندق‌زایی و توسعه آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

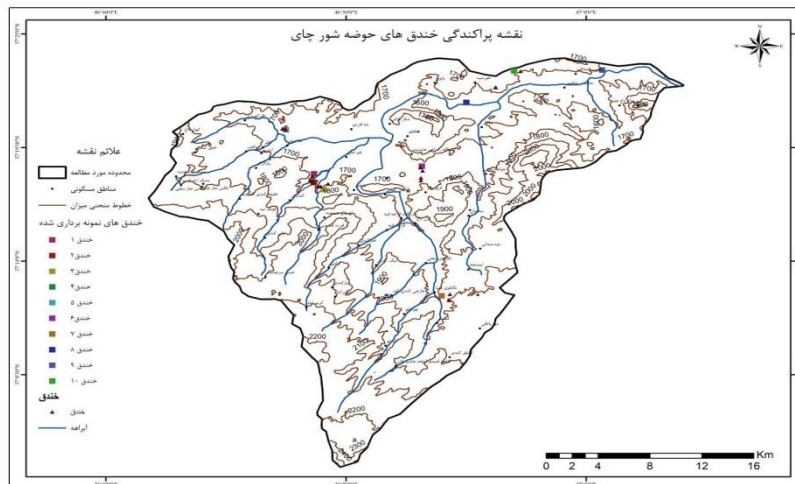
منطقه مورد مطالعه

حوضه شورچای از زیر حوضه‌های مهم حوضه بزرگ قرانقوچای محسوب می‌شود که در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند واقع شده است. این منطقه در محدوده شهرستان‌های چاراویماق و هشترود واقع شده است. وسعت حوضه مورد مطالعه ۵۶۱ کیلومتر مربع می‌باشد و در مختصات ۳۷ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. بیشترین ارتفاع ۲۵۶۰ متر کوه‌های گل دامن داغ که سرچشمه شاخه اصلی شورچای می‌باشد و کم‌ترین ارتفاع ۱۵۲۰ متر در نقطه خروجی حوضه در نزدیکی روستای چینی می‌باشد (محل اتصال شورچای به قرانقوچای). میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۳۳۱ میلی‌متر و میانگین سالیانه دمای ایستگاه‌های منتخب منطقه، ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. مردادماه با ۲۴/۵ درجه گرم‌ترین ماه و آذرماه با ۳/۵- سردترین ماه می‌باشد (شکل ۱)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه شورچای

در حوضه شورچای بیشتر خندق‌ها در بخش‌های شمالی و غربی حوضه و در پایین تپه‌های مارنی گچدار و نمک‌دار، که دامنه‌ها توسط پوشش گیاهی حفاظت نشده‌اند و در مسیر شاخاب‌های اصلی رودخانه که پتانسیل خندق‌زایی بالاست، دیده می‌شود. همچنین تراس‌های رودخانه‌ای قدیم و جدید که با شیب کمی به شبکه اصلی منتهی می‌شوند درگیر این مشکل هستند. با ملاحظه نقشه پراکندگی خندق‌ها روستاهای آسایش، ملاجیق، خورشید، یانیق، قویونقشلاق و تکانلوی علیا با خطر شدید خندق‌زایی مواجه هستند. به خاطر همین نمونه‌های خاک برای آنالیز آزمایشگاهی از این مناطق برداشته شد (شکل ۲).

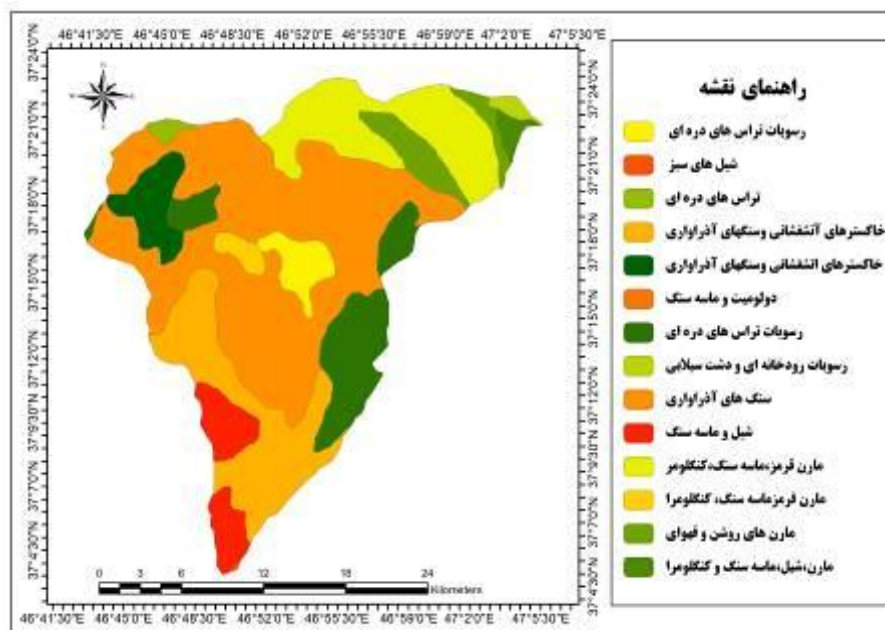


شکل ۲- نقشه پراکندگی خندق‌ها در حوضه شورچای

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه و مطالعات میدانی نشان داد که در محدوده مورد مطالعه دوره ائوسن با سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی که بیشتر شامل توف و خاکسترهای آتشفشانی می‌باشند، قاعده ائوسن را سنگ‌های آتشفشانی متشکل از آندزیت و توف‌های داسیتی تشکیل می‌دهد (شکل ۳). دوره میوسن شامل سنگ‌های آذرآواری و رخساره‌های دریایی سازند قم متشکل از

آهک‌ها می‌باشد که در بعضی جاها توسط رسوبات پادگانه‌های آبرفتی پوشیده شده‌اند. رسوبات تبخیری و تخریبی دوره میوسن که بیشتر شامل ماسه‌سنگ، مارن، گچ و نمک می‌باشد، در بعضی جاها به صورت معدن گچ در حال بهره‌برداری هستند. رسوبات پلیستوسن و کواترنر که شامل تراس‌های آبرفتی قدیم و جدید که مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها شامل شن، ماسه و سیلت می‌باشد در بخش‌های وسیعی از زمین‌های کم شیب و اطراف رودخانه‌ها گسترده شده‌اند. در بخش خروجی رودخانه شورچای گنبد‌های نمکی قرار دارند و انحلال نمک‌ها موجب شوری خاک‌ها شده است.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی حوضه شورچای

مواد و روش‌ها

روش تحقیق در این مطالعه بیشتر به صورت کتابخانه‌ای، مطالعات میدانی، اندازه‌گیری‌های مورفومتری، آزمایشگاهی و استفاده از مدل‌های تجربی به شرح زیر بوده است:

الف- مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای: به منظور شناسایی مقدماتی ویژگی‌های طبیعی حوضه، از اسناد کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های ۱: ۲۵۰۰۰ و ۱: ۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱: ۱۰۰۰۰۰۰ منطقه و داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های هشت‌رود، جاراویماق و نظر کهریزی، تصاویر گوگل ارث استفاده شده است.

ب- مطالعات میدانی: پس از بازدیدهای اولیه و شناسایی خندق‌های منطقه مورد مطالعه، تعداد ۲۶ خندق به عنوان نمونه جهت تحلیل‌های مورفومتری و ارزیابی میزان رشد آن‌ها انتخاب گردید. سپس منطقه مورد مطالعه در طول یک سال آبی جهت مشخص نمودن میزان رشد خندق‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و بر این اساس پارامترهای طول برای اندازه‌گیری پیشروی طولی، عرض برای اندازه‌گیری پیشروی عرضی و عمق خندق‌های انتخاب شده یک‌بار در شهریورماه ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد. سپس جهت تعیین میزان رشد و توسعه خندق‌ها مورد مطالعه در اواخر مردادماه ۱۳۹۶ مجدداً خندق‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری گردیدند تا ابعاد گسترش آن‌ها در طول یک سال مشخص شود. از ابزارهای GPS و متر فلزی و دوربین عکاسی برای ثبت موقعیت و مشخصات خندق‌ها استفاده گردید.

ج- مطالعات آزمایشگاهی: جهت بررسی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه و تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی تعداد ۱۰ نمونه خاک از بین خندق‌های انتخابی با پراکنش متفاوت از دو عمق سطحی (۰-۳۰) و زیر سطحی (۳۰-۶۰) سانتی‌متری از دیواره خندق‌ها برداشته شد و در کیسه‌های نایلونی جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک پس از عبور از الک دو میلی‌متری، به آزمایشگاه خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شدند و مورد آنالیز آزمایشگاهی قرار گرفتند. خصوصیات فیزیکی (درصد رس، درصد سیلت، درصد شن) به روش هیدرومتری و خصوصیات شیمیایی (درصد رطوبت اشباع، هدایت الکتریکی، درصد ماده آلی، درصد سدیم تبادلی، نسبت جذب سدیم) برای نمونه‌های مورد نظر اندازه‌گیری شد. نسبت جذب سدیم (SAR) بر اساس نسبت بین کاتیون‌های کلسیم و منیزیم با سدیم و واکنش خاک نیز با pH اندازه‌گیری شد. نسبت جذب سدیم با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Asghari Saraskanroud, 2017).

$$\text{SAR} = [\text{Na}^+] / \left(\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2} \right)^{1/2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقادیر EC و SAR برای طبقه‌بندی خاک‌های متأثر از نمک استفاده می‌شود. واسکوم^۱ و همکاران به نقل از شهریور و همکاران (۲۰۱۲) خاک‌ها را بر اساس جدول ۱ به سه گروه طبقه‌بندی کردند (Shahrivar, Boon Sung, Jessop, Rahim, & Sufi, 2012).

جدول ۱- طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس مقادیر EC و SAR

SAR	pH	EC (ds/m)	
<۱۳	<۸/۵	>۴	شور
≥۱۳	>۸/۵	<۴	سدیمی
≥۱۳	<۸/۵	>۴	شور سدیمی

در این طبقه‌بندی، $EC=4$ و $SAR \leq 13$ به‌عنوان آستانه EC و SAR استفاده می‌شود که خاک‌های شور نامیده می‌شود (Asghari Saraskanroud, 2017).

د- استفاده از مدل‌های تجربی: 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 تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آن‌ها شد.

ضریب رطوبت در سازندهای منطقه

شاخصی که با استفاده از آن می‌توان پتانسیل خندق‌زایی منطقه را با پارامترهای اقلیمی در ارتباط گذاشت، ضریب مقدار رطوبت در سازندهای سطحی می‌باشد. این ضریب بدین صورت است که اگر میزان رطوبت موجود در سازندهای سطحی کاهش یابد به مفهوم کاهش رطوبت قابل جذب ریشه گیاهان می‌باشد و گیاهان نمی‌توانند از مقدار رطوبت ناچیز چسبیده به ذرات خاک استفاده کنند و پژمرده می‌شوند. ضریب ws از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ws = R - RP/t$$

که در این رابطه ws = شاخص رطوبت موجود در خاک، t = درجه حرارت ماهیانه، R = متوسط بارش ماهیانه به میلی‌متر، RP = ضریب مربوط به دما و از رابطه زیر به دست می‌آید (Abedini, 2013).

$$Rp = 30(t+7)$$

تجزیه و تحلیل میزان رطوبت موجود در سازندها و نوسان آن در پیدایش خندق‌ها

میزان رطوبت و تغییر آن در نتیجه تناوب فصول خشک و مرطوب عامل مهم در به وجود آمدن ترک‌ها و شیارها در سازندهای ریزدانه حاوی رس و سیلت و در نهایت توسعه فرسایش شیاری و پیدایش خندق‌های منطقه شده است. محققان برای پی بردن به پتانسیل خندق‌زایی از شاخص‌های مختلف استفاده می‌کنند یکی از مهم‌ترین آن‌ها شاخص نوسان رطوبت خاک (ws) می‌باشد. شاخص نوسان رطوبت موجود در خاک برای ارزیابی پتانسیل مناطق برای فرسایش خندقی استفاده می‌شود (Abedini, 2013) و برای محاسبه آن از پارامترهای اقلیمی بلندمدت منطقه استفاده می‌شود. بعد از محاسبه ماه‌هایی که دارای نوسان رطوبتی (ws) منفی می‌باشند که نشانگر پتانسیل زیاد برای فرسایش خندقی در ماه موردنظر می‌باشد. برای حوضه مورد مطالعه بر مبنای داده‌های اقلیمی ۱۸ ساله ایستگاه هشت‌رود مقادیر شاخص برای ماه‌های سال محاسبه گردید و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج محاسباتی که برای حوضه مورد مطالعه به دست آوردیم، به جز ماه‌های دی، آذر و اردیبهشت سایر ماه‌ها، حوضه دارای ضریب نوسان رطوبتی (ws) منفی بوده و نشانگر استعداد زیاد منطقه برای فرسایش خندقی می‌باشد. کاهش میزان (ws) عمدتاً در فصول گرم و خشک موجب پیدایش ترک‌هایی در سازندهای ریزدانه می‌شود و این ترک‌ها در زمان اولین بارش‌های ناگهانی محل تمرکز روان آب‌ها و موجب پیدایش فرسایش شیاری و در نهایت تبدیل شیارها به خندق‌ها می‌شوند. به‌ویژه اینکه بارندگی‌های اوایل پاییز و اوایل فروردین به دلیل فقدان پوشش گیاهی لازم از قدرت خندق‌زایی بالاتری برخوردارند.

جدول ۲- نتایج شاخص ws برای ماه‌های سال در حوضه شورچای

ماه	T	P	RP	WS
دی	-/۶	۳۳/۱	۱۹۲	۱۵۸/۳
بهمن	۱/۸	۳۳/۶	۲۶۴	- ۱۱۲/۴
اسفند	۴/۶	۴۰	۳۴۸	- ۳۵/۶
فروردین	۱۰/۲	۶۵/۷	۵۱۶	- ۱۵/۱
اردیبهشت	۱۵/۴	۴۹/۸	۶۷۲	۶/۲
خرداد	۲۰/۸	۱۲	۸۳۴	- ۲۸
تیر	۲۴/۵	۶/۱	۹۴۵	- ۳۲/۷۴
مرداد	۲۴/۵	۳/۷	۹۴۵	- ۳۴/۸۷
شهریور	۱۸/۸	۷	۷۷۴	- ۳۴/۱۷
مهر	۱۱/۶	۲۲/۳	۵۵۸	- ۲۵/۸
آبان	۳/۹	۳۱/۹	۳۲۷	- ۵۱/۹۴
آذر	۳/۵	۲۵/۱	۱۰۵	۴/۹

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

برای بررسی وضعیت خاک منطقه نمونه‌هایی از خاک‌های موجود جمع‌آوری و آزمایش‌هایی روی آن‌ها انجام شد که نتایج آن در جداول ۳ و ۴ آمده است. با توجه به داده‌های جدول، نسبت جذب سدیم (SAR) در خاک‌های منطقه بالا است در نتیجه خاک‌های منطقه شور می‌باشند. بالا بودن نسبت جذب سدیم در خاک شاخص مهمی در میزان پخش شدن خاک و ایجاد فرسایش خندقی است (Rienks, Botha, & Hughes, 2000). خاک‌های شور دارای مقدار زیادی املاح محلول هستند و به محض

دریافت رطوبت ساختمان خاک متلاشی می‌شود. افزایش نمک در پروفیل خاک باعث افزایش غلظت محلول شده و پایداری خاک‌دانه‌ها با افزایش نسبت جذب سدیم تنزل یافته در نتیجه فرسایش خاک تشدید می‌شود. نسبت بالای هدایت الکتریکی نیز نشانگر افزایش مواد قابل انحلال در منطقه می‌باشد که در مناطق کم شیب تجمع این املاح مکان‌های مستعدی را برای رخداد فرسایش تونلی فراهم می‌آورد. تراکم یون‌های سدیم و منیزیم نیز باعث افزایش شدت انقباض و توسعه بیشتر شکاف‌ها شده و باعث افزایش قدرت انحلال آب‌های زیرزمینی می‌شود در نتیجه خاک‌هایی که یون‌های کلسیم و سدیم بیشتری دارند تونل‌هایی با عمق زیاد ایجاد می‌کنند.

جدول ۳- مقدار نسبت سدیم جذب شده نمونه خاک‌های حوضه شورچای

نمونه	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	SAR
۱	۱۸	۵۲	۱۶/۷۰	۱۱/۷۸
۲	۱۸	۷۴	۴۰/۷۳	۶
۳	۳۴	۳۵	۵۰/۱۰	۹/۸۲
۴	۳۸	۴۲	۵۱/۶۸	۸/۱۷
۵	۳۷	۶۶	۶۸/۲۳	۹/۵
۶	۲۴	۴۶	۶۰/۵۰	۱۰/۲۳
۷	۳۱	۸۳	۳۳/۶۱	۴/۴۳
۸	۱۵	۳۳	۷۷/۲۸	۱۵/۹
۹	۲۵	۴۵	۵۵/۷۴	۹/۴۳
۱۰	۱۶	۵۷	۶۶/۶۷	۱۱/۸۸

خواص فیزیکی خاک سطحی اثر مهمی برافزایش میزان نفوذپذیری آب در خاک و کاهش روان آب دارد و می‌تواند بر مورفولوژی خندق‌ها تأثیر بگذارد (Deng et al., 2015). ریزدانه بودن ذرات تشکیل‌دهنده سازندهای زمین‌شناسی مانند رس، سیلت و شن بستر بسیار مناسبی برای پیشروی خندق‌ها است. مارن‌های شور و گچی با درصد بالای ذرات ریز دوران سوم و چهارم زمینه مناسبی برای ایجاد خندق‌ها فراهم کرده است. در رابطه با میزان درصد سیلت و تأثیر نامطلوب آن در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی می‌توان چنین بیان کرد که بین مقدار سیلت خاک و فرسایش‌پذیری آن ارتباط نزدیکی وجود دارد. به دلیل عدم چسبندگی سیلت هرچقدر مقدار آن در خاک بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری آن افزایش می‌یابد. مقاومت ذرات سیلت در برابر فرسایش هم از نظر اندازه و هم از نظر چسبندگی نسبتاً کم است. خاک‌های سیلتی خوب دانه‌بندی می‌شوند ولی به محض دریافت رطوبت خاک دانه‌ها به سهولت شکسته شده و ذرات سیلت فرسایش پیدا می‌کنند به طوری که بین میزان سیلت و فرسایش‌پذیری خاک ارتباط نزدیکی وجود دارد. این خاصیت سیلت‌ها به عدم چسبندگی آن‌ها مربوط می‌شود. تغییر جزئی در درصد سیلت خاک با تغییر قابل توجهی در مقدار فرسایش‌پذیری خاک همراه است (Refahi, 2009). مقدار رس در خندق‌های مورد مطالعه حدود ۳۰ درصد است که در محدوده اعلام شده توسط ایوانس^۱ که بین ۹ تا ۳۰ درصد برای خاک‌های فرسایش‌پذیر قرار دارد (Yousefwand, Habibnejad, Soleimani, & Rezaei Pasha, 2013). وجود رس در بافت خاک‌ها به خاطر ریزدانه بودن آن می‌تواند ظرفیت نگهداری آب در خاک را کاهش دهد، در نتیجه رس انبساط یافته و منافذ آن بسته می‌شود و آب‌ها نمی‌توانند در ساختمان آن نفوذ کنند و با افزایش روان آب‌ها فرسایش تشدید می‌شود. ممکن است رس‌ها با خشک شدن در فصول خشک شکاف بردارند و همین شکاف‌ها نقطه ضعف آن‌ها را برای فرسایش فراهم می‌کند که مراحل اولیه فرسایش شروع می‌شود و روان آب وارد شده به شکاف‌ها فرایند فرسایش تونلی یا لوله‌ای را تسهیل کند و با ریزش سقف تونل‌ها،

خندق‌های اولیه تشکیل شود. خاک‌های غیر چسبناک بیشتر در معرض پیپ شدن هستند بنابراین مرحله اولیه تشکیل خندق‌ها بر اساس نفوذ آب سطحی صورت می‌گیرد (Valentin et al., 2005). درصد ذرات ماسه در نمونه‌های آزمایشگاهی زیاد است که احتمالاً ریزدانه بودن ماسه‌ها باعث فرسایش می‌شوند. ذرات ماسه ریز هم رفتاری مشابه ذرات سیلت داشته و قابلیت جدا شدن بیشتری دارند در نتیجه این ذرات هم باعث تسریع فرسایش می‌شوند. نتایج آزمایشگاهی با مشخص کردن بافت نمونه‌های خاک نشان می‌دهد که خاک‌های منطقه عمدتاً شنی است و ذرات شن به خاطر چسبندگی کمتر در مقابل بارش‌های رگباری مقاومت زیادی در مقابل فرسایش ندارند. این عمل باعث واگرایی خاک شده و ذرات ماسه با مجاورت آب انسجام خود را ازدست داده و امکان توسعه فرسایش خندقی فراهم می‌شود که این مسئله با یافته‌های یوسفوند و همکاران (۱۳۹۲)، اویگان^۱ و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر غالب بودن بافت شنی در خندق‌های منطقه مطابقت دارد (Oyegun, Ereka, & Eludoyin, 2016; Yousefwand et al., 2013) (جدول ۴).

جدول ۴- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های حوضه شورچای

نمونه	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت
۱	۸/۱۲	۵۷۴	۳۰	۲۲/۵	۴۷/۵	شنی، رسی، لومی
۲	۸/۱۲	۵۷۱	۲۷/۵	۲۵	۴۷/۵	شنی، لومی
۳	۸/۱۱	۵۶۹	۳۰	۱۵	۵۵	شنی، رسی، لومی
۴	۸/۰۲	۵۸۳	۳۰	۱۲/۵	۵۷	شنی، رسی، لومی
۵	۸/۰۱	۶۰۱	۲۷/۵	۲۵	۴۷	شنی، رسی، لومی
۶	۸/۰۶	۵۴۲	۳۲/۵	۲۰	۴۷	شنی، رسی، لومی
۷	۸/۰۷	۶۰۰	۲۷/۵	۲۲/۵	۵۰	شنی، رسی، لومی
۸	۸/۰۱	۶۱۱	۲۷/۵	۲۵	۴۷/۵	شنی، رسی، لومی
۹	۸/۰۵	۵۵۰	۲۷/۵	۱۵	۵۷/۵	شنی، رسی، لومی
۱۰	۸/۲	۵۲۸	۳۲/۵	۲۰	۴۷/۵	شنی، رسی، لومی

مورفومتری خندق‌های مورد مطالعه

بر اساس جدول ۳ بیشتر خندق‌ها در ردیف خندق‌های کوچک می‌باشند. انواع خندق‌ها بر اساس پارامتر طول به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱) کمتر از ۱۲۰ متر (کوچک)، ۲) بین ۱۲۰ تا ۲۴۰ متر (متوسط)، ۳) بیشتر از ۲۴۰ متر (بزرگ) (Shadfar, 2010). بر اساس داده‌های جدول بعضی خندق‌ها گسترش زیادی داشته‌اند. مخصوصاً گسترش طولی خندق‌ها فراوان می‌باشد که این مسئله بیشتر در اثر پسروری پیشانی خندق‌ها می‌باشد و بعضاً به چند متر می‌رسد که حکایت از فعالیت شدید خندق‌زایی در منطقه دارد. احتمالاً بارش‌های رگباری بهار ۹۶ که باعث ایجاد سیل شدید در منطقه شد و خسارات عظیمی به روستاهای واقع در حوضه مورد مطالعه تحمیل کرد باعث توسعه خندق‌ها گردیده است.

توسعه عرضی و عمقی خندق‌ها به خاطر فرسایش جانبی می‌باشد. این مسئله به علت زیربری کرانه کانال‌های خندق‌ها و گسیختگی که تحت تأثیر نیروی ثقل است، اتفاق می‌افتد. ریزش خاک دیواره خندق به داخل کانال باعث گسترش آن‌ها می‌شود. خندق‌های منطقه عمدتاً در سطح نهشته‌های آبرفتی ریزدانه کواترنر و سازندهای مارنی میوسن شکل گرفته‌اند و شکل آن‌ها عمدتاً V است که با بخش بالا کند پسرونده و با دیواره‌های تند و ناپایدار و غالباً چند شاخه‌ای (پنجه‌ای) می‌باشند. این

خندق‌ها به‌خاطر تراکم زیاد رسوبات نرم، در عمق توسعه‌یافته ولی عرض کمی دارند. تراکم زیاد این نوع خندق‌ها بیشتر در اطراف سد ملاجیق مشاهده می‌شوند (شکل ۴).



شکل ۴- نمونه‌ای از خندق‌های V شکل که رسوبات آن موجب پر شدن سد ملاجیق می‌شود

نوع دیگر خندق‌ها بر روی تراس‌های رودخانه‌ای ایجاد شده و در شیب‌های منتهی به شبکه‌های اصلی قرار گرفته‌اند. که از نوع خندق‌های جبهه‌ای می‌باشند و با فرسایش قهقرایی حالت پسروده دارند و باعث تخریب زمین‌های کشاورزی، جاده‌های روستایی و کانال‌های آبیاری می‌شوند. البته این مسئله با حضور مستمر آب صورت می‌گیرد که بارش‌های بهاری شدید به‌عنوان موتور محرکه خندق‌زایی عمل می‌کند.



شکل ۵- نمونه‌ای از خندق‌ها که از قسمت رأس حالت پسرودی دارند

پدیده پای‌پینگ هم در توسعه خندق‌ها نقش مهمی داشته است. پای‌پینگ عبارت است از؛ جریان زیرزمینی و زیر شویی مواد قابل انفصال و انحلال که گاهی به آن فرسایش تونلی نیز می‌گویند (Ahmadi, 1999). ایجاد راهروهای زیرزمینی به‌صورت حفره‌های واقعی در دیواره خندق‌ها موجب گسترش آن‌ها می‌شود. حفره‌های مذکور مراحل اولیه تحول خود را طی می‌کنند. گسترش این راهروهای زیرزمینی و سپس ریزش سقف آن‌ها باعث توسعه خندق‌ها می‌شود. این راهروها عمدتاً به‌وسیله رسوبات نفوذپذیر، قابلیت انحلال و احتمالاً در اثر تمرکز جریان‌های سطحی، که آب را به داخل شکاف‌ها هدایت

می‌کنند ایجاد می‌شوند. جریان‌های زیرسطحی هم به علت ریزدانه بودن سازندها (سیلت، رس) و انحلال‌پذیر (نمک، گچ و آهک) باعث فرسایش تونلی می‌شوند.

در حوضه مورد مطالعه در سطح سازندهای مارنی و سیلت دار در سطوح کم شیب فرسایش تونلی عامل مهمی در شکل‌زایی و گسترش خندق‌ها می‌باشد. به طوری که در بازه زمانی یک‌ساله پیم‌های جدیدی تشکیل شده بودند. این اشکال از قسمت‌های بالادست خندق‌ها به صورت حفره‌هایی ایجاد شده و سپس آب‌های سطحی را به طرف خود هدایت کرده و شروع به بزرگ شدن می‌کنند و در نهایت پس از ریزش سقفشان به خندق‌های جدیدی تبدیل شده و یا باعث توسعه خندق‌های قبلی می‌شوند. یکی از عوامل مهم پدیده پای‌پینگ در منطقه مورد مطالعه وجود سازندهایی مثل آهک در قسمت‌های شمالی و نمک در نزدیک خروجی حوضه که قابلیت انحلال دارند، می‌باشد. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک می‌باشد در فصول خشک به واسطه خشک شدن زمین ترک‌ها و شکاف‌هایی در زمین ایجاد می‌شود و با شروع فصل بارش آب وارد این شکاف‌ها شده و به درون زمین نفوذ می‌کند و در جهت شیب با انحلال و شستشوی مواد کلوئیدی خاک‌ها، موجب شکل‌گیری پیم‌های زیرزمینی می‌شوند که عامل مهمی در انتقال مواد رسوبی و کانی‌های قابل انحلال، به طرف شبکه‌های جاری می‌شود. مشاهدات صحرائی نشان داد که خندق‌زایی بیشتر در مناطقی صورت گرفته است که سازندهای منطقه بیشتر از مارن و از بخش‌های مختلف گچی، آهکی و نمکی تشکیل شده است و انحلال‌پذیری بالایی دارند. به نحوی که پیشروی خندق‌ها در محدوده سر خندق غالباً به صورت حفره‌ای صورت گرفته است و خندق از ناحیه افق‌های میانی تا زیرین انحلال پیدا کرده و ریزش می‌نماید و سپس سطح بالایی خندق یک‌مرتب فرومی‌ریزد که باعث پیشروی آن می‌گردد. این خندق‌ها بیشتر در اطراف روستای تکانلوی شهرستان چاراویماق مشاهده می‌شوند و در اطراف بستر رودخانه توسعه یافته‌اند (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۷- نمونه‌ای از خندق‌ها در اثر فروریختن سقف تونل



شکل ۶- آغاز فرسایش تونلی در حوضه شورچای

جدول ۵- مقایسه تطبیقی مورفومتری خندق‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

نوع خندق	طول	عمق	عرض	۱۳۹۶	طول	عمق	عرض	۱۳۹۵
کوچک	۳۰	۱/۸۶	۱/۵۵	۱	۲۹	۱/۸	۱/۵	۱
کوچک	۹۸	۰/۸	۱/۳	۲	۹۴	۶/	۱/۲	۲
کوچک	۱۷	۲/۳	۵	۳	۱۵	۲/۲	۴/۶	۳
کوچک	۲۹/۵	۲	۳/۸	۴	۲۸	۱/۹	۳/۷	۴
کوچک	۲۴/۲	۳/۸	۹/۳	۵	۲۴	۳/۷	۹/۱	۵
کوچک	۳۲	۱/۷۵	۶	۶	۳۲	۱/۷	۵/۸	۶
کوچک	۷۲/۵	۳/۶	۶/۸	۷	۷۱	۳/۴	۶/۶	۷
کوچک	۱۰۷	۴/۵	۷/۲	۸	۱۰۶	۴/۲	۷/۱	۸
کوچک	۹۲	۳/۱	۵/۳	۹	۹۰	۳	۵	۹
متوسط	۱۵۵	۰/۹۸	۲/۹	۱۰	۱۵۲	۰/۹۵	۲/۷	۱۰
کوچک	۸۲	۲/۱	۸/۸	۱۱	۸۲	۱/۹	۸/۵	۱۱
کوچک	۶۳	۳/۳	۳/۶	۱۲	۶۲	۳/۱	۳/۴	۱۲
کوچک	۵۰	۳/۶	۷/۳	۱۳	۳۹	۳/۴	۷/۱	۱۳
متوسط	۲۱۸	۶/۲	۹/۶	۱۴	۲۱۶	۵/۹	۹	۱۴
متوسط	۱۹۳	۲/۳	۵/۴	۱۵	۱۹۰	۲/۱	۵	۱۵
متوسط	۱۵۲	۲/۳	۶/۴	۱۶	۱۵۰	۲	۶	۱۶
متوسط	۲۲۵	۵/۴	۱۱/۵	۱۷	۲۲۰	۵	۱۱	۱۷
کوچک	۳۰	۲/۳	۲/۷	۱۸	۲۸	۲/۲	۲/۶	۱۸
کوچک	۵۲	۲/۳	۲/۸	۱۹	۵۰	۲/۲	۲/۷	۱۹
کوچک	۷۳	۶/۳	۱۰/۷	۲۰	۷۰	۶	۱۰/۴	۲۰
متوسط	۱۸۸	۲/۵	۳/۹	۲۱	۱۸۵	۲/۴	۳/۷	۲۱
کوچک	۳۲	۰/۷	۰/۸	۲۲	۳۰	۰/۶	۰/۷	۲۲
کوچک	۴۷	۱/۵	۱/۵	۲۳	۴۵	۱/۴	۱/۴	۲۳
کوچک	۱۰۵	۳/۳	۶/۵	۲۴	۱۰۲	۳/۲	۶/۳	۲۴
متوسط	۱۵۵	۱/۵	۱/۷	۲۵	۱۵۰	۱/۳	۱/۵	۲۵
کوچک	۴۰	۰/۷	۱/۱	۲۶	۳۸	۰/۶	۱	۲۶

نتیجه گیری

بررسی و تجزیه تحلیل نتایج مربوط به شکل گیری و گسترش فرسایش خندقی در حوضه مورد مطالعه در رابطه با سازندهای زمین شناسی و مشخصات خاک، نشان دهنده نقش و مشارکت مستقیم عوامل مذکور در ایجاد و پیدایش اشکال مختلف خندق می باشد. مارن های شور و گچی دوران سوم و چهارم به دلیل انحلال پذیری بالا، نفوذ پذیری بالایی دارند و زمینه مناسبی را برای ایجاد شبکه‌ای از خندق‌های متراکم در اراضی تپه ماهوری و تراس‌های آبرفتی منطقه فراهم نموده است.

نتایج شاخص‌های اقلیمی نظیر WS (نوسان رطوبت موجود در سازندهای سطحی) وجود استعداد خندق‌زایی در منطقه را تأیید می کند و بیانگر پتانسیل بالای منطقه برای ایجاد فرسایش خندقی می باشد. نتایج این قسمت با نتایج پویسون و همکاران

(۲۰۰۲)، عابدینی (۱۳۹۲)، ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) و اصغری (۱۳۹۶) (Abedini, 2013; Asghari Saraskanroud, 2017; Poesen et al., 2002; Servati et al., 2008) منطبق است.

با مشخص کردن بافت نمونه‌های سطحی و عمقی خاک با استفاده از درصد ذرات مشاهده گردید که خاک‌های منطقه عمدتاً شنی و لومی می‌باشد و ذرات شن به‌خاطر مقاومت کمتر در مقابل فرسایش موجب پراکندگی خاک می‌گردد و مقدار رس هم با حدود ۳۰ درصد موجب فرسایش خندقی می‌گردد. نتایج این بخش با یافته‌های یوسفوند و همکاران (۱۳۹۲)، یووادیاورگان و همکاران (۲۰۱۶) و دانلادی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد (Oyegun et al., Danladi & Ray, 2014; Yousefwand et al., 2013; 2016). بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک هم بیانگر شور بودن خاک و بالا بودن مقدار SAR و EC می‌باشد. چنین وضعیتی نشان‌دهنده تبادل سدیم زیاد خاک است و زمانی که سدیم خاک در حد بالایی قرار گیرد، خاصیت پخش‌شدگی خاک را فراهم می‌نماید و روان آب‌ها به‌ویژه باران‌های بهاری که شدت زیادی در منطقه دارند موجب ناپایداری خاک‌ها گشته و با ایجاد فرسایش تونلی باعث گسترش و پیشروی خندق‌ها شده است و مقدار زیادی از املاح موجود در خاک شسته شده و توسط روان آب خروجی از خندق خارج و یا به افق‌های پایین‌تر نفوذ می‌کنند. نتایج این قسمت با نتایج اصغری (۱۳۹۶) قدوسی و داوری (۱۳۹۱) اسماعیل نژاد و همکاران (۱۳۹۱) جهان تیغ و تابع (۱۳۹۶) مطابقت دارد (Asghari Saraskanroud, 2017; Ghodousi & Davari-Rad, 2012; Ismail-Nejad et al., 2012; Jahanatigh & Tabeh, 2017).

نتایج مورفومتری خندق‌های منطقه هم بیانگر رشد سریع خندق‌ها است. مشاهدات میدانی نشان داد که رشد سریع خندق‌ها در بازه زمانی یک‌ساله قابل‌ملاحظه می‌باشد. شکل رأس اکثر خندق‌ها عمودی است و وجود توده‌های خاک در داخل آن‌ها و همچنین ریزش دیواره‌ها بیانگر فعال بودن خندق‌ها می‌باشد. بیشتر خندق‌ها از ناحیه هدکت در اثر فرسایش قهقرایی در حال گسترش می‌باشند و در حال تخریب زمین‌های کشاورزی و متروکه شدن این زمین‌ها می‌باشد.

باینکه زمین‌های هموار از مواد فرسایش‌پذیر تشکیل شده‌اند اما وجود شیب پایین از انرژی فرسایشی روان آب‌ها می‌کاهد و شدت فرسایش نسبت به زمین‌های شیب‌دار پایین است ولی در تراس‌های رودخانه‌ای که متشکل از آبرفت‌های نامتراکم هستند خندق‌های توسعه‌یافته مشاهده می‌شوند. این خندق‌ها در اثر ایجاد شیارهای عمیق در شیب‌های منتهی به بستر اصلی در اثر فرسایش قهقرایی در حال توسعه هستند. تداوم فرسایش در این مکان‌ها موجب افزایش رسوب رودخانه می‌شود که خطر پر شدن سدها و کانال‌های آبیاری را به همراه خواهد داشت. لذا پیشنهاد می‌گردد اقدامات اصلاحی لازم از قبیل کاشت گیاهان مقاوم به شوری و تثبیت بیولوژیکی جهت کاهش رسوب برای حفاظت حوضه و جلوگیری از تلف شدن خاک‌ها با کنترل روان آب‌ها صورت گیرد.

سهم نویسندگان: بشیر بشارتی (نویسنده اول) نگارنده بحث اصلی (۴۰٪)، موسی عابدینی (نویسنده دوم، مسئول)، پژوهشگر کمکی و تحلیل‌گر (۴۰٪)، صیاد اصغری (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی (۲۰٪)

منابع و مآخذ

- Abedini, M. (2009). Quantity study on hydrogeomorphological issues of Lykwan Chai river with emphasis on soil and sediment srosion (southeast of Ardebil). *Geography and Development Journal*, 7(15), 71- 88. (Persian)
- Abedini, M. (2013). Quantitative analysis of gully erosion in Kalghan-Chaj basin (east of Sahand). *Geography and Urban Area Journal*, 3(7), 97- 110. (Persian)
- Ahmadi, H. (1999). *Applied geomorphology (water erosion)* (Vol. 1). Tehran: Tehran University. (Persian)
- Asghari Saraskanroud, S. (2017). Analysis of affecting factors on creating gully in the eastern shores of Urmia Lake. *Geographical Space Journal*, 17(58), 285-301. (Persian)

- Bayati Khatibi, M., Rajabi, M., & Karami, F. (2011). Study of topographic thresholds and analysis of the role of type of surface formation in the development of gullies in the mountains of semi-aride areas (case Study: Shoorchai basion. *Journal of Geography and Environmentale Planning*, 22(1), 15-34. (Persian)
- Conoscenti, C., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Agnesi, V., & Märker, M. (2014). Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: a case of Sicily (Italy). *Geomorphology*, 204, 399-411 . [DOI:10.1016/j.geomorph.2013.08.021]
- Danladi, A., & Ray, H. H. (2014). An analysis of some soil properties along gully erosion sites under different land use areas of Gombe Metropolis, Gombe State, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning*, 7(5), 86-96 .[DOI:10.5897/JGRP2014.0438]
- Deng, Q., Miao, F., Zhang, B., Luo, M., Liu, H., Liu, X., . . . Liu, G. (2015). Planar morphology and controlling factors of the gullies in the Yuanmou Dry-hot valley based on field investigation. *Journal of Arid Land*, 7(6), 778-793 .[DOI:10.1007/s40333-015-0135-8]
- Ehiz, O. S., & Omougbo, U. N. (2013). Evaluating factors responsible for gully development at the University of Benin. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*, 4(5), 707-713 .
- Feizenya, S., Heshmati, M., Ahmadi, H., & Ghodousi, J. (2007). The study of the gully erosion of the Aghajari marlian formation in Qasr-Shirin area. *Journal of Research and Development in Natural Resources*, 20(1), 32- 40. (Persian)
- Ghodousi, J., & Davari-Rad, A. (2012). *The Effect of physical and chemical properties of soil in gully erosion evente and morphology of gullies*, Collection of the 2nd Tehran erosion and sedimentation conference. (Persian)
- Ismail-Nejad, L., Sayed-Mohammadi, J., & Bakhshipour, R. (2012). The effect of physical, chemical and soil physiological properties on the morphology of gullies in marlian lands of south of Guilan. *Researches in Watershed Journal*, 25(4), 7-16. (Persian)
- Jahanatigh, M., & Tabeh, M. (2017). Comparing soil physico-chemical characteristics and trapezoidal and v-shaped gully morphology with different land uses in dry areas, case study: Hossinzahi and Nalint regions of Chabahar. *Journal of Engineering and Watershed Management*, 9(3), 308-317. (Persian)
- Kardel, F., & Tajari, A. (2015). Influence of gully erosion on soil moisture of abandoned farming dry land and rangeland in loess land (Case study: Kale-Shour watershed, Golestan province). *Electronic Journal Soil Managment and Sustainable Production*, 5(2), 181-195. (Persian)
- Khoojeh, N., Ghodousi, J., & Esmaeili, R. (2012). Investigation of the relation of soil physiochemical characteristics and initiation and expansion of gully erosion in Temer Ghareh Ghozi watershed, Golestan province. *Journal of Watershed Management Research*, 3(5), 27-41. (Persian)
- Mallam, I., Iguisi, E. O., & Tasiu, Y. U. (2016). An assessment of gully erosion in kano metropolis, Nigeria. *Agricultural Science*, 5(1), 14-27 .
- Mohammad Ebrahimi, M. R., & Vafakhah, M. (2015). Investigation of the role of soil and non-soil parameters in development of linear gully erosion in Agh Emam watershed. *Soil Researches Journal*, 29(4), 487-498 . (Persian)
- Noheghar ,A., & Heidarzadeh, M. (2011). Study of physico-chemical and morphometric properties of gully areas (case study: Gazir, Hormozgan). *Environmental Erosion Researches Journal*, 1(1), 29-43. (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. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(1), 43-50 .[DOI:10.1016/j.iswcr.2017.12.003]
- Oyegun, C. U., Ereka, U., & Eludoyin, O. S. (2016). Gully characterization and soil properties in selected communities in Ideato South Lga, Imo State, Nigeria. *Nature and Science*, 14(2), 78-86 .
- Poesen, J., Vanderkerckhove, L., Nachtergaele, J., Oostwoud Wijdenes, D., Verstraeten, G., & Wesemael, B. (2002). *Gully Erosion in Dryland Environments. Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid. Channels*. 229-262.
- Refahi, H. (2009). *Water erosion and its control* (Six ed.). Tehran: Tehran University Press. (Persian)
- Rienks, S. M., Botha, G. A., & Hughes, J. C. (2000). Some physical and chemical properties of sediments exposed in a gully (donga) in northern KwaZulu-Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layers. *CATENA*, 39(1), 11-31. [DOI:10.1016/S0341-8162(99)00082-X]
- Servati, M. R., Ghodousi, J., & Dadkhah, M. (2008). Effective factors in the formation and expansion of gully erosion in loss. *Research and Formation in Natural Resources*, 21(1), 20- 33. (Persian)
- Shadfar, S. (2010). *Introduction to gully erosion* (First ed.). Tehran: Entekhab Publication. (Persian)
- Shahrivar, A., Boon Sung, C., Jessop, S., Rahim, A., & Sufi, M. (2012). Roles of SAR and EC in gully erosion development (a case study of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province, Iran) *Journal of Research in Agricultural Science*, 8(1), 1-12 .
- Shit, P. K., Bhunia, G .S., & Maiti, R. (2013). Assessment of factors affecting ephemeral gully development in badland topography: A case study at garbheta badland (Pashchim Medinipur). *International Journal of Geosciences*, 4(2), 461-470. [DOI:10.4236/ijg.2013.42043]

- Tebebu, T., Abiy, A., Zegeye, A., Dahlke, H., Easton, Z., Tilahun, S., . . . Dadgari, F. (2010). Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion near Lake Tana in the northern highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(11), 2207-2217. [DOI:10.5194/hess-14-2207-2010]
- Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *CATENA*, 63(2), 132-153 . [DOI:10.1016/j.catena.2005.06.001]
- Yousefwand, S., Habibnejad, M., Soleimani, K., & Rezaei Pasha, M. (2013). Lithological and geological impacts on gully erosion (case study: Seif Abad watershed, Lorestan). *Water and Soil Science*, 17(65), 139-151. (Persian)