دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۵۸
تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۳۰۱-۲۸۵

صیاد اصغری سراسکانرود[۱]

تحلیل عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۳/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۹/۰۸

چکیده

فرسایش خندقی یکی از فرآیندهای اصلی فرساینده و حالت‌دهنده شکل سطح زمین می‌باشد. توسعه فرسایش خندقی باعث از بین رفتن بخش زیادی از خاک شده و می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب زیست‌محیطی زمین در ساحل شرقی دریاچه ارومیه در نظر گرفته شود. هدف این تحقیق تحلیل عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بدین منظور در این تحقیق از مقادیر هدایت الکتریکی، نسبت سدیم جذب شده، PH، نوع بافت خاک برای تحلیل عوامل موثر در ایجاد فرسایش خندقی و از شاخص‌های اقلیمی، ضریب رطوبت در سازندهای منطقه برای تحلیل پتانسیل خندق‌زایی منطقه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بر مبنای شاخص‌های اقلیمی پتانسیل خندق‌زایی منطقه بالا می‌باشد. تحلیل بافت نمونه‌های برداشت شده نشان داد که ریزدانه بودن ذرات تشکیل‌دهنده سازندهای زمین‌شناسی به‌علت ساختمان ضعیف خاکدانه‌ها شرایط بسیار مناسبی برای پیشروی طولی و عرضی خندق‌ها فراهم نموده است. تجمع بالای املاح محلول مخصوصا مقادیر بالای (EC و SAR) باعث ایجاد فرسایش انحلالی شده که شرایط ایجاد فرسایش تونلی را مهیا می‌سازد. نتایج تحقیق نشان داد که شکل‌گیری فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه و گسترش آن تحت تاثیر دو عامل، عوامل اقلیمی از یک طرف که باعث ایجاد رواناب و تغییر در میزان نفوذپذیری و از طرف دیگر تحت تاثیر ویژگی‌ها و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: فرسایش خندقی، ویژگی‌ها فیزیکی و شیمیایی خاک، مقادیر (SAR, EC, PH).

۱- گروه ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی. E-mail: s.asghari@uma.ac.ir

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

مقدمه

فرسایش خاک به‌وسیله آب یکی از عوامل اصلی تخریب زمین در بسیاری از مناطق می‌باشد (والنتین و پویسون[۲]، ۲۰۰۵: ۱۳۳؛ بوخیر و همکاران[۳]، ۲۰۰۷: ۱۷۷۲) فرسایش خندقی حالت تکامل‌یافته فرسایش شیاری روان آب‌ها است (علیزاده، ۱۳٦۸ به نقل از عابدینی، ۱۳۸٤: ۱۱٤) خندق یک آبراهه با کناره‌های داری شیب تند و یک پیشانی فرسایشی پرشیب و فعال می‌باشد که با فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب به‌طور معمول در طی یا پس از ریزش باران‌های شدید ایجاد شده است (پویسن و همکاران[٤]، ۲۰۰۳: ۹۲) و این روان آب‌ها اغلب جریان دایمی ندارند (کربای و براکن[٥]، ۲۰۰۹: ۱۸٤۲). در حالت کلی، هیوج، آبراهه‌هایی را با سطح مقطع بزرگ‌تر از ۱ فوت مربع و بریس معیار عمق حداقل ۰/۳ متر و حداقل عرض ۰/٦ متر را برای تعریف خندق به‌کار برده‌اند (رفاهی و همکاران ۱۳۸٤، به نقل از ملکی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۱) فرسایش خندقی می‌تواند از ۱۰ تا ۹٤ درصد کل فرسایش یک منطقه را شامل بشود (پویسن و همکاران، ۲۰۰۳: ۹۲). میزان رطوبت و تغییرات آن در نتیجه‌ی تناوب فصول خشک و مرطوب عامل مهم در به‌وجود آوردن ترک‌ها و شیارها در سازندهای ریزدانه حاوی رس و سیلت و در نهایت توسعه‌ی فرسایش شیاری و پیدایش خندق‌ها می‌باشد. تناوب فصول گرم و خشک موجب می‌شود که در فصول گرم با خشک شدن زمین و پژمرده شدن پوشش گیاهی، در سطح سازندهای ریزدانه ترک‌هایی به‌وجود آید و این ترک‌ها در زمان اولین بارش‌های ناگهانی، محل تمرکز رواناب‌ها و پیدایش فرسایش شیاری و خندقی می‌شوند (اوستاوود و همکاران، ۲۰۰۱، به نقل از عابدینی، ۱۳۸٤، ۱۱۷). فرسایش خندقی زمانی اتفاق می‌افتد که فرسایندگی جریان آب و یا فرسایش‌پذیری رسوبات یا تشکیلات منطقه از آستانه ژئومورفولوژیک منطقه بالاتر برود (ایمسون و کواد،۱۹۸۰٦: ٤۳۱؛ زوکا و همکاران[۷]، ۲۰۰٦: ۸۸؛ توری و همکاران[۸]، ۲۰۱۲: ۷۷). عوامل محیطی کنترل کننده شرایط بحرانی برای گسترش فرسایش خندقی عبارتند از: بارندگی، توپوگرافی، خاک، لیتولوژی و کاربری اراضی می‌باشد (کونوسسنتی و همکاران،[۹] ۲۰۱۳: ۲) توزیع بارش بر روی هیدرولیک جریان و رطوبت خاک تاثیر می‌گذارد قدرت فرسایندگی جریان و مقاومت خاک در مقابل فرسایش در قبل و بعد از بارش متفاوت می‌باشد و بر روی تولید رواناب تاثیر مستقیم دارد (کاپرا و همکاران[۱۰]، ۲۰۱۲: ۱۰؛ ماگلیلو[۱۱]، ۲۰۱۲: ۱۸۰۲) مقدار و حجم جریان نیز به‌وسیله ویژگی‌های توپوگرافیک منطقه از جمله شدت شیب، جهت شیب، وسعت زهکشی منطقه کنترل می‌گردد (کاپرا و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۰؛ چاپلوت[۱۲]، ۲۰۱۳: ۲) عمق و مورفولوژی مقطع عرضی خندق به‌وسیله فرسایش‌پذیری خاک

2- Valentin and Poesen
3- Bou Kheir and et al
4- Poesen et al
5- Kirkby and Bracken
6- Imeson and Kwaad
7- Zucca et al
8- Torri et al
9- Conoscenti et al
10- Capra et al
11- Magliulo
12- Chaplot

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

منطقه و ویژگی‌های لایه‌های زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شود (پویسون و همکاران، ۲۰۰۳: ۹۳؛ لوکا و همکاران[۱۳]، ۲۰۱۱۱: ۲۹۸) ویژگی‌های خاک منطقه بر روی جریان زیرسطحی و پدیده فرسایش پایپینگ تاثیر می‌گذارد که پایپ‌ها وقتی سقفشان فرو می‌ریزد باعث ایجاد خندق‌ها می‌گردند (پولیس و همکاران[۱۴]، ۲۰۱۲: ۲۲۰؛ بول و کیرکبی[۱۵]، ۱۹۹۷: ۱۳۵). پویسون و همکاران، (۲۰۰۳) و والنتین و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقاتشان نتیجه گرفتند که تغییر کاربری اراضی و مخصوصا تبدیل اراضی به زمین‌های کشاورزی باعث افزایش میزان فرسایش خندقی می‌گردد. با در معرض قرار گرفتن فرسایش خاک‌های مناطق که از مقاومت اندکی در برابر جریان سطحی برخوردار هستند، حجم بالای میزان فرسایش نتیجه خواهد شد. از این‌رو فرسایش خندقی می‌تواند به‌عنوان شاخص بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گیرد (ثقفی و اسماعیلی، ۱۳۸۸: ۱۳۵).

اینگرید و همکاران[۱۶] (۲۰۱۵) مورفومتری خندق‌ها و ویژگی‌های بارش منطقه را در ایجاد فرسایش خندقی در دره آپالاشین مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه پارامترهای بارش (بارش کل، تداوم، حداکثر بارش) بر روی مورفومتری خندق‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه این مطالعه نشان داد که تداوم بارش در ایجاد فرسایش خندقی مهم‌تر از سایر پارامترهای بارش می‌باشد. دوترویچ و همکاران[۱۷] (۲۰۱۳) بیان کردند که توسعه سیستم فرسایش خندقی در حوضه بابیکوچ تحت تاثیر ویژگی‌های بارشی، وقوع سیلاب‌های گلی، تغییرات مئاندر رودخانه، ویژگی‌های خاکشناسی، شرایط دیرینه زمین‌شناسی منطقه و مهم‌تر از همه اقدامات انسانی است که باعث شده است امروز منطقه شدیدا تحت تاثیر فرسایش خندقی بریده بشود و برای کشاورزی بسیاری سخت گشته است. استیفانو و همکاران[۱۸] (۲۰۱۳) در یک مطالعه میدانی ویژگی‌های مورفومتریک فرسایش شیاری و خندق‌های موقتی را مورد مطالعه قرار دادند در این مطالعه پارامترهای طول، عرض، عمق و حجم خندق مورد بررسی قرار گرفت سپس در جریان‌های مختلف ویژگی‌های مورفومتری ذکر شده به‌وسیله مدل‌های رایج بررسی گردید. بوچانک و همکاران[۱۹] (۲۰۰۹) تاثیر بارش و شیب را در حجم رسوبات تولیدی به وسیله فرسایش خندقی را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق حجم فرسایش خندقی در شیب‌های تند و شیب کم بررسی شد نتایج نشان داد که حجم فرسایش در شیب‌های تند بیش‌تر می‌باشد و همچنین بارش ٤٠ میلی‌متری آستانه وقوع فرسایش خندقی در منطقه می‌باشد. پویسون و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که مقادیر متوسط بارندگی و دمای هوا که هر دو عامل موثر در نوع و میزان تراکم پوشش گیاهی و در نتیجه حجم و شدت و انرژی جنبشی رواناب‌های سطحی هستند به عبارت دیگر این دو عامل به‌طور غیرمستقیم بر رخداد و گسترش فرسایش خندقی از طریق تاثیر بر پوشش گیاهی، نفوذپذیری خاک و در نتیجه حجم و شدت رواناب‌های سطحی که عامل اصلی در شکل‌گیری فرسایش خندقی و گسترش آن هستند

13- Luca et al
14- Pulice et al
15- Bull and Kirkby
16- Ingrid
17- Dotterweich et al
18- Stefano et al
19- Bouchnak et al

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

موثر می‌باشند. زمان‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را در شکل‌گیری فرسایش خندقی منطقه دشت کهور لامرد مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه میزان حساسیت رسوبات به فرسایش خندقی با توجه به مقادیر (PH, OM, TNV) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که رسوب تولیدی ناشی از گسترش خندق‌ها در منطقه ناشی از سه متغیر گستره آبخیز، درصد سیلت و ماسه آبخیز واقع در بالای پیشانی خندق‌ها می‌باشد. خزایی و همکاران (۱۳۹۱) عوامل موثر بر توسعه فرسایش آبکندی در حوضه آبخیز مارون را مورد مطالعه قرار دادند. جهت ارزیابی میزان رشد خندق‌های منطقه، نمونه‌برداری ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها در طی دو سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۹ و بعد از وقایع بارندگی ۲٤ ساعته بیش از ده میلی‌متر صورت گرفت. نتایج نشان داد که توسعه خندق به صورت غار مانند و از بخش میانی تا تحتانی در اثر لایه‌های سست و شکننده و وجود املاح و عناصر انحلال‌پذیر در این بخش و در نتیجه فرو ریختن سقف خندق بوده است. ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها را مورد مطالعه قرار دادند نتایج نشان داد که شکل‌گیری و شدت گسترش خندق‌ها در اراضی لسی تابعی از ارتفاع متوسط بارندگی، دمای متوسط سالانه هوا، جهت شیب، سازند زمین‌شناسی، منابع اراضی، نوع خاک و ویژگی‌های مربوط به آن و میزان املاح محلول (EC, SAR, ESp) می‌باشند عابدینی (۱۳۸٤) وضعیت فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب‌غرب دشت هادی‌شهر را مورد بررسی نموده است. در این مطالعه ضمن انجام مورفومتری خندق‌های منطقه طی مطالعه میدانی، استعداد خندق‌زایی منطقه از طریق شاخص رطوبت موجود در سازندها و ضریب هیدروترمال تعیین گردیده است. نتایج این مطالعه نشان داد که منطقه دارای استعداد بالایی برای فرسایش خندقی می‌باشد. قدوسی و داودی‌راد (۱۳۸٤) تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را در رخداد فرسایش خندقی مورد مطالعه قرار دادند در این تحقیق مقادیر پارامترهای (PH, EC, SP) در افق‌های A، B و C بررسی شد. نتایج نشان داد که شکل‌گیری و ایجاد انواع شبکه خندق تابعی از خصوصیات خاک از جمله بافت خاک است و خطر خندقی شدن در خاک‌های با بافت سیلتی و رسی به مراتب بیش‌تر از خطر رخداد فرسایش در خاک‌های با بافت سبک است.

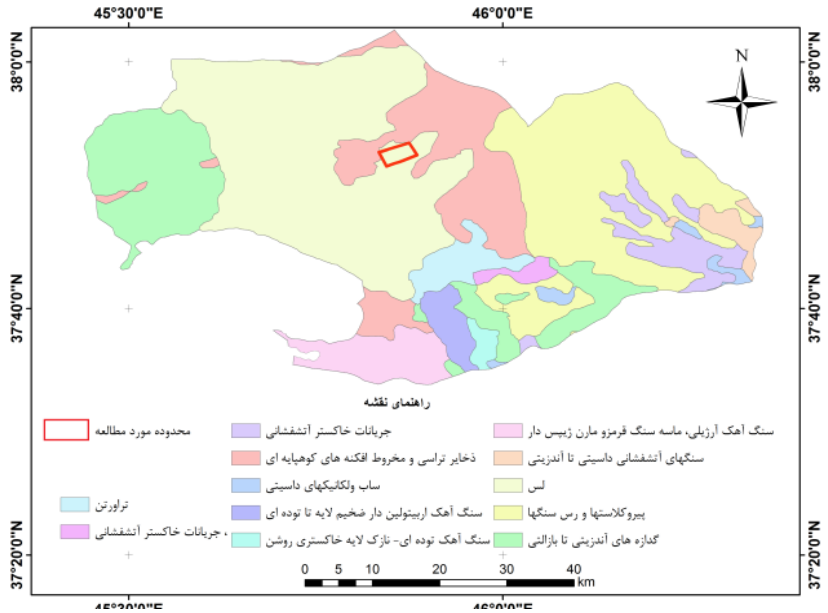
این تحقیق در پی آن است که تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه همچنین ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه را در جهت ایجاد خندق‌زایی در منطقه مورد ارزیابی قرار دهد.

منطقه مورد مطالعه

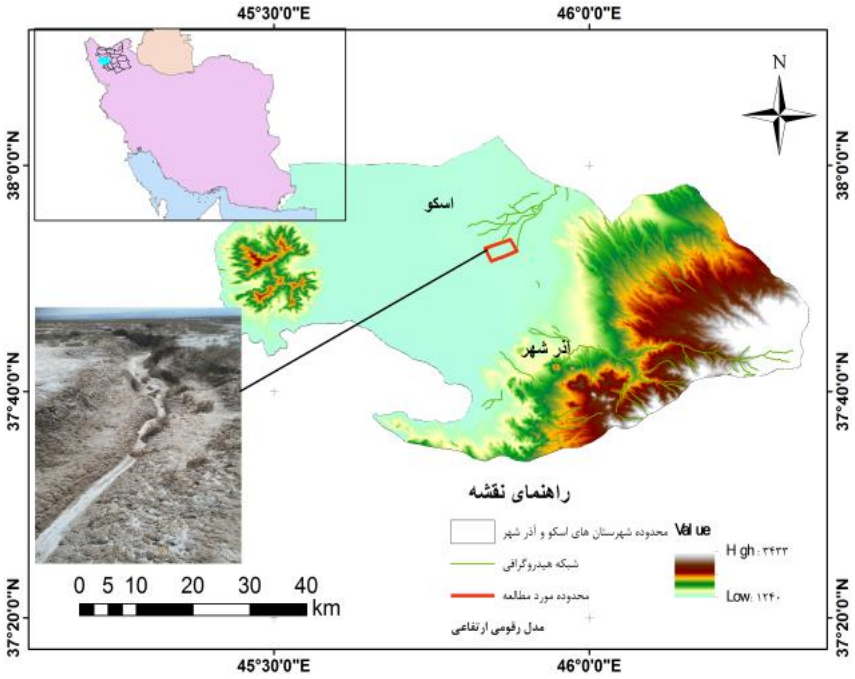
منطقه مورد مطالعه این تحقیق در محدوده استان آذربایجان‌شرقی و در محدوده شهرستان اسکو می‌باشد محدوده‌ای بسیار کوچک در مختصات ۳۷ درجه ۵۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض جغرافیایی و ٤۷ درجه و ۵۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول جغرافیایی به ابعاد ۲ در ٤ کیلومتر می‌باشد ارتفاع متوسط منطقه ۱۲۸۲ متر می‌باشد محدوده‌ای بدون عارضه توپوگرافی و دارای شیب بسیار کم به سمت دریاچه ارومیه می‌باشد (شکل ۱). با توجه به نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (شکل ۲) تمامی خندق‌ها منطقه در سازندهای سست ریزدانه لسی، تراس‌ها و سازندهای آبرفتی

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

مخروط‌افکنه‌ها حاوی شن، ماسه و سیلت با درجه شوری و سدیمی بسیار بالا شکل گرفته و توسعه می‌یابند. بر طبق معادله گرادیان دمایی محاسبه شده میانگین سالیانه دمای ایستگاه‌های منتخب منطقه ۱۲/٦ درجه سانتی‌گراد بوده و مرداد با میانگین دمای ۲۵/۸ گرم‌ترین و دی‌ماه با میانگین دمای ۱/۲- درجه سانتی‌گراد سردترین ماه سال به‌شمار می‌رود. میزان بارش متوسط سالانه ایستگاه‌های منطقه ۲٤٦/٦ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱: مدل رقومی محدوده مورد مطالعه و موقعیت منطقه در سطح استان آذربایجان‌شرقی



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

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

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱، داده‌های اقلیمی شامل عناصر دما و بارش ایستگاه‌های عجب‌شیر، شرفخانه، سهند و ایستگاه تبریز به جهت نزدیک‌ترین ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، مطالعات میدانی، مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌های بررسی استعداد خندق‌زایی مناطق استفاده شده است. مراحل انجام این تحقیق به تفکیک موارد به‌شرح زیر می‌باشد.

- مطالعات آزمایشگاهی

جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه نمونه‌برداری از خاک قسمت‌های مختلف خندق‌ها انجام شد و نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده کشاورزی (گروه خاکشناسی) دانشگاه ارومیه منتقل گردید، سپس فراسنج‌های بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن) به روش هیدرومتری، هدایت الکتریکی (EC) بر حسب میلی‌موس بر سانتی‌متر مربع، نسبت جذب سدیم (SAR) بر اساس نسبت بین کاتیون‌های کلسیم و منیزیم با سدیم و واکنش خاک نیز با PH متر اندازه‌گیری شد.

نسبت جذب سدیم با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

رابطه (۱) $SAR = [Na+] / (([Ca2+] + [Mg2+])/2)\ 1/2$

طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس EC و SAR

مقادیر EC و SAR برای طبقه‌بندی خاک‌های متاثر از نمک استفاده می‌شود. واسکوم و همکاران (۲۰۰۶) به نقل از شهریور و همکاران[20] (۲۰۱۲: ۵) خاک‌ها را بر اساس (جدول ۱) به سه گروه طبقه‌بندی کردند.

جدول ۱- طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس مقادیر EC و SAR

	EC(ds/m)	PH	SAR
شور[21]	>٤	<۸/۵	<۱۳
سدیمی[22]	<٤	>۸/۵	≥۱۳
شور سدیمی	>٤	<۸/۵	≥۱۳

در این طبقه‌بندی، EC= 4 و SAR ≥ 13 به‌عنوان آستانه EC و SAR استفاده می‌شود که خاک‌های شور نامیده می‌شود. تعاریف بسیار متفاوتی برای تعریف خاک‌های سدیمی وجود دارد، چون خاک‌های مختلف رفتار متفاوتی دارند. با این وجود مرکز آزمایشگاه خاک‌شناسی امریکا شاخصی برای طبقه‌بندی خاک‌ها به‌عنوان، شور، قلیایی و شور اقلیایی ارائه کرده است. آبروی و همکاران (۱۹۸۸) به نقل از شهریور و همکاران (۲۰۱۲: ۵) خاک‌ها را بر

20- Shahrivar et al
21- Saline
22- Sodic

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

اساس تنها EC طبقه‌بندی کرده است؛ که در این طبقه‌بندی خاک‌ها به‌صورت غیرشور، شوری کم، شوری متوسط، زیاد شور و بسیار زیاد شور طبقه‌بندی کردند که مقدار EC به‌ترتیب برابر ۰-۲، ۲-٤، ٤-۸، ۸-۱٦ و EC بزرگ‌تر از ۱٦. کریستوس و همکاران (۲۰۱۰) به نقل از شهریور و همکاران (۲۰۱۲: ۵) خاک‌ها را بر حسب خطر بیابان‌زایی برای بیان روند خطر تخریب شوری بر اساس EC به چهار گروه به‌صورت زیر طبقه‌بندی کرده است EC > 8 (خطر بسیار زیاد)، EC= 4-8 (خطر زیاد) EC= 2-4 (خطر متوسط) و EC < 2 (خطر کم) (شهریور و همکاران، ۲۰۱۲: ۵). از نظر مستعد بودن فرسایش خندقی، مقدار پتانسیل هیدروژن (PH=۵/۹) و هدایت الکتریکی (۰/۱) حد آستانه برای فرسایش خطی (پای پینگ، شیاری و خندقی) می‌باشند (عابدینی، ۱۳۸۸: ۸۳).

- طبقه‌بندی خندق‌ها برا ساس EC و SAR

شهریور و همکاران (۲۰۱۲) خندق‌ها را بر اساس مقادیر EC و SAR به سه گروه طبقه‌بندی کردند؛ گروه اول SAR<8 و EC <4 را شامل می‌شود، گروه دوم EC 4-8 و SAR 4-8 را شامل می‌شود و گروه سوم EC بیش از هشت و SAR بیش از ۱۳ را در بر می‌گیرد.

- ضریب رطوبت در سازندهای منطقه

ضریب دیگری که با استفاده از آن می‌توان استعداد بالقوه یا پتانسیل خندق‌زایی منطقه را با پارامترهای اقلیمی در ارتباط گذاشت و تعیین نمود، 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. در نهایت گیاهان نمی‌توانند از مقدار رطوبت ناچیز چسبنده به ذرات خاک (رطوبت هیگروسکپی) استفاده کنند و پژمرده می‌شوند. تناوب فصول گرم و خشک موجب می‌شود که در فصول گرم با خشک شدن زمین و پژمردن پوشش گیاهی، در سطح سازندهای ریزدانه ترک‌هایی به‌وجود آید و این ترک‌ها در زمان اولین بارش‌های ناگهانی، محل تمرکز روان آب‌ها و پیدایش فرسایش شیاری و خندقی می‌شوند. اقدامات انسانی (شخم زدن، آتش‌سوزی، بوته‌کنی، چرای بیش از حد توان منطقه و...) باعث به‌هم خوردن تعادل طبیعت به‌ویژه در فصول گرم (ماه‌هایی که Ws) می‌شود، بنابراین، کاهش یا منفی بودن Ws زمانی اهمیت پیدا می‌کند که در منطقه پس از یک دوره خشکی در بین بارندگی‌ها و نیز به‌هم خوردن تعادل طبیعی زمین، اولین بارندگی‌ها شروع شود (عابدینی، ۱۳۹۲: ۱۰۱).

ضریب Ws از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۲) $$Ws = R - \frac{Rp}{t}$$

که در این رابطه t درجه حرارت ماهیانه، Ws رطوبت موجود، R متوسط بارش ماهانه به میلی‌متر Rp ضریب مربوط به دما و از رابطه زیر به‌دست می‌آید (عابدینی، ۱۳۹۲: ۱۰۱)

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

رابطه (۳) $p = 30 (t + 7)$

یافته‌ها و بحث

- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

با توجه به (جداول ۲ و ۳) و بر مبنای طبقه‌بندی واسکوم و همکاران (۲۰۰۶) خاک‌های منطقه شور می‌باشد. همچنین بر مبنای طبقه‌بندی آبرول و همکاران (۱۹۸۸) خاک‌های منطقه بسیار شور هست. بر مبنای مقادیر (EC, SAR) نوع خاک منطقه شور سدیمی[۲۳] می‌باشد که خاک‌های شور سدیمی اثرات بسیار مخربی نسبت به خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی دارند. همچنین خطر بیابان‌زایی در منطقه با توجه به شاخص بیابان‌زایی کریستوس و همکاران (۲۰۱۰) بسیار بالا می‌باشد، با توجه به (جدول ۲) مقدار هدایت الکتریکی خاک‌های منطقه بسیار بالا می‌باشد که نیازمند توجه جدی و انجام اقدامات لازم می‌باشد. خاک‌های منطقه آستانه لازم برای فرسایش خطی (پای پینگ، شیاری و خندقی) را بر مبنای (PH= ۵/۹ و EC= ۰/۱) دارا می‌باشند (عابدینی، ۱۳۸۸: ۸۳)؛ بنابراین با توجه به معیارها و طبقه‌بندی دانشمندان مختلف خاک‌های منطقه در صورت فراهم شدن سایر شرایط پتانسیل بالایی جهت ایجاد گسترش فرسایش خندقی دارا می‌باشد. با توجه به جدول (۲) بافت خاک خندق‌های مورد مطالعه عمدتا سیلتی لومی می‌باشد که سیلت در همه خندق‌ها غالب می‌باشد. بر همین مبنا یکی از عوامل پیشرفت طولی و عرضی خندق‌های مورد مطالعه وجود سیلت (به‌علت حساسیت بسیار زیاد به فرسایش) در لایه‌ها و افق‌های مختلف خاک‌های منطقه می‌باشد بدین دلیل که با افزایش میزان سیلت فرسایش‌پذیری خاک‌ها به دلیل مستعد بودن ذره رسی (۲ تا ۵ میکرون) به فرسایش به‌شدت بالا می‌رود (رنگ آور، ۱۳۸۸: ۱۸۷۸). مقاومت ذرات سیلت در برابر فرسایش هم از نظر اندازه و هم از نظر چسبندگی نسبتا کم است. خاک‌های سیلتی معمولا خوب دانه‌بندی می‌شوند ولی در اثر مرطوب شدن، خاک دانه‌های بسهولت شکسته و ذرات سیلت جدا و منتقل می‌شوند. با توجه به (جدول ۲) مقدار عناصر ریزدانه بافت خاک بالا می‌باشد که مقدار رس هم در بافت خاک بالا می‌باشد و در همه نمونه‌ها بیش از ۲۰ درصد هست. هر چه خاکی بافت ریزی داشته باشد ظرفیت نگهداشت آب در خاک افزایش می‌یابد (که این مطلب در تمامی مطالعات میدانی در بررسی خاک در افق‌های مختلف مشاهده شد) این پدیده منجر به انبساط رس‌ها و بسته شدن منافذ خاک شده در نتیجه نفوذ آب به داخل خاک کاهش یافته و روان آب‌های سطحی ایجاد می‌شود. این روان آب‌ها به‌تدریج بستر خود را کنده و عمیق می‌کنند و آبراهه‌هایی ایجاد می‌شود که با افزایش ابعاد آن‌ها فرسایش خندقی وسیعی به وقوع می‌پیوندد (ایستانبولاوغلو و همکاران،[۲۴] ۲۰۰۵: ۱۰۲۷) (شکل ۳) درصد

۲۳- یون سدیم دارای شعاع یونی هیدراته‌ی بزرگی است و مولکول‌های آب زیادی را جذب می‌کند و بعد از جذب آب متورم شده، نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد و در اثر بارش و رواناب‌های حاصل از آن، فرسایش و تلفات خاک به میزان زیادی افزایش می‌یابد (جو و کاپات، ۲۰۰۹ به نقل از زمان‌زاده و احمدی، ۱۳۹۲: ۱٤٦).

24- Istanbulluoglu et al

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

ذرات ماسه نیز در همه نمونه بسیار کم می‌باشد و همچنین مقدار ماسه‌های موجود در نمونه‌ها بسیار ریزدانه بود. باید توجه داشت که بافت ریزدانه خاک‌های موجود در منطقه از عوامل اصلی شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی می‌باشد بدین دلیل که با افزایش میزان ماسه و شن (درشت دانه شدن)، تراکم خندق‌ها و در نتیجه احتمال رخداد فرسایش خندقی کاهش می‌یابد (قدوسی و داوری‌راد، ۱۳۹۱: ۷).

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌های منطقه مورد مطالعه

نمونه	PH	EC(ds/m)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	ماسه (درصد)	بافت
A	٦/٦٩	٢٧٨	٢٣/٣٤	٦٤/١٦٥	١٢/٤٩٥	سیلتی لومی
B	٦/٨	٢٨٢	٢٥/٨٤	٦٩/١٦٥	٤/٩٩٥	سیلتی لومی
C	٦/٦٢	٢٠٨	٢٣/٣٤	٦٦/٦٦٥	٩/٩٩٥	سیلتی لومی
D	٦/٧٨	٣٠٢	٣٠/٨٤	٦١/٦٦٥	٧/٤٩٥	سیلتی، رسی لومی

از نظر PH خاک‌های منطقه اسیدی ضعیف تا خنثی می‌باشند. با توجه به (جداول ۲ و ۳) مقادیر EC و SAR در همه نمونه‌ها بسیار بالا می‌باشد افزایش میزان شوری خاک و نسبت جذب سدیم باعث ایجاد ساختمان دانه‌ای ریز در خاک می‌شود که به‌محض رسیدن رطوبت به آن‌ها ساختمان خاک متلاشی می‌شود. افزایش نمک در پروفیل خاک ضمن تاثیر بر غلظت محلول خاک ممکن است سبب تغییر ترکیب کمپلکس تبادلی نیز بشود. چنین تغییری به‌طور مشخص در جهت افزایش درصد یون سدیم قابل تبادل است، زیرا نمک‌های سدیمی انحلال‌پذیرترین نوع نمک‌های طبیعت هستند که انحلال آن‌ها و آزاد شدن سدیم باعث پراکنده شدن خاک می‌شود. از طرفی مقادیر زیاد سدیم باعث کاهش هدایت آبی خاک از طریق پدیده‌های تورم و پراکنده شدن کانی‌های رسی می‌شود. پایداری و مقاومت خاک‌دانه‌ها[۲۵] با افزایش نسبت جذب سدیم کاهش یافته و در نتیجه فرسایش خاک تشدید می‌شود (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱) با توجه به (جدول ۲) نسبت بالای مقدار هدایت الکتریکی خاک نشانگر افزایش مواد قابل انحلال موجود در آن بوده که عامل بسیار مهم و اصلی شکل‌گیری فرسایش تونلی راس خندق نیز می‌باشد (شکل ۳). با توجه به نتایج این تحقیق، تراکم یون‌های سدیم و منیزیم باعث افزایش شدت انقباض و توسعه بیش‌تر ترک‌ها می‌شود؛ و افزایش قابلیت انحلال توسط آب‌های فرورو می‌گردد لذا نهشته‌هایی که یون‌های کلسیم و بالاخص سدیم

۲۵- مقاومت خاک، عبارت است از ظرفیت آن برای تحمل نیروهای وارده، بدون ان که گسیخته شود. از نظر کمی، مقاومت خاک برابر حداکثر تنشی است که می‌توان به خاکی اعمال کرد، بدون آنکه گسیختگی در آن رخ دهد. مقاومت خاک، متاثر از مقدار و نوع کاتیون‌های تبادلی، مقدار پراکنش رس، نوع و اندازه ذرات رس، خاک دانه های پایدار در آب، غلظت و ترکیب محلول خاک، مواد آلی خاک و دوره‌های خشک و تر شدن است (هیلل، به نقل از تاجیک و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۵۲).

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

بیش‌تری دارند بیش‌تر در معرض انحلال قرار گرفته و تونل‌هایی با عمق بیش‌تری خلق می‌کنند. ایجاد فرسایش تونلی نیز در منطقه به علت ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های منطقه می‌باشد چون به وجود آمدن تونل‌ها در طبقات تحتانی زمین در اثر پراکندگی ذرات خاک به‌دلیل وجود یون سدیم و غیرقابل نفوذ بودن لایه‌های زیرین است (گومز و همکاران[۲۶]، ۲۰۰۳: ۱۱۹۰).

جدول ۳- مقدار نسبت سدیم جذب‌شده نمونه خاک‌های منطقه مورد مطالعه

نمونه	Ca(meg/l)	Mg(meg/l)	Na(meg/l)	SAR
A	۲۹۰	۳۱۰	۲۰۳٤/٦	۱۷/۳
B	۱۵۰	۳۸۰	۱۹۸٤/۲	۱٦/۳
C	۲۵۰	٤٤۰	۱۹۵۹	۱۸/٦
D	۲۳۰	۲٦۰	۱۸۸۳/۳	۱۵/۷



شکل ۳: فرسایش تونلی یا فرسایش پای پینگ در راس خندق با طول ۳۵ سانتی‌متر و عرض ۲۵ سانتی‌متر. با ریزش سقف فرسایش تونلی باعث گسترش طولی راس خندق می‌گردد. شکل ٤: تمرکز رواناب‌ها و آستانه شروع فرسایش خندقی. بدلیل مقدار بسیار بالای مواد محلول شسته شدن خاک‌ها با شدت زیادی صورت می‌گیرد همچنین شوری بسیار بالا باعث ایجاد سیستم خندقی شبکه‌ای شکل می‌گیرد.

پیشروی خندق‌های مورد مطالعه به دو شکل صورت می‌گیرد نوع اول پیشروی براساس فرسایش قهقرایی می‌باشد که در این حالت سر خندق‌ها به‌صورت پسروی همراه با ریزش مواد به داخل خندق صورت می‌گیرد. البته نوع دیگر پیشروی در این مورد به‌صورت تمرکز جریان‌های سطحی و کاوش مسیر خطی به شکل خندق می‌باشد که باعث

26- Gomez

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

ایجاد میکرو خندق‌ها می‌گردد که این فرآیند آستانه شروع فرسایش خندقی نیز می‌باشد (شکل ٤). نوع دیگر پیشروی به‌صورت ایجاد حفره‌های کوچک و بزرگ در محدوده سر خندق‌ها (فرسایش پایپینگ[۲۷]) می‌باشد، به نحوی که با توجه به شوری بسیار بالا خاک‌های منطقه (شکل ٦) و فراوانی املاح به‌شدت انحلال‌پذیر (جدول ۲)، خندق‌ها از ناحیه افق‌های میانی تا زیرین انحلال می‌گردد و سپس سطح بالایی خندق‌ها نیز ریزش کرده که باعث گسترش طول خندق‌ها می‌گردد. فرسایش تونلی به‌صورت حفره‌های افقی در دیواره‌های خندق‌های فعال و شیارهایی آبکندی قابل مشاهده‌اند. حفره‌های مذکور مراحل اولیه تحول خود را طی می‌کنند و ابعاد چندانی ندارند، قطر آن‌ها بین ۳۵ تا ٦۰ سانتی‌متر و امتداد طولی آن‌ها تا ۲۰ تا ۷۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۳). گسترش این حفره‌ها و سپس ریزش سقف آن‌ها در مرحله پیشرفته‌تر تغییرات گسترش فرسایش خندقی را باعث می‌شود. گسترش عرض خندق‌های مورد مطالعه در دیواره‌های چپ و راست به تمایل جریان آبی منطقه در مواقع بارندگی بستگی دارد. زیربری جریان آبی و خالی شدن دیواره و از دست دادن نقطه اتکا عامل اصلی ریزش در اثر نیروهای ثقلی و گسترش عرضی خندق می‌باشد (شکل ۵). در خندق‌های مورد مطالعه فرسایش کناری غالب می‌باشد به این دلیل که اولا در طول جریان‌های سیلابی به علت زیربری کناری خندق گسیختگی‌های توده‌ای اتفاق می‌افتد که در خمیدگی‌های مقعر قابل مشاهده می‌باشد. ثانیا رواناب ایجاد شده به علت قدرت نفوذپذیری بسیار کم در منطقه باعث ایجاد شیارهایی در جوانب خندق می‌شود که این شیارها به‌تدریج گسترش یافته و آستانه شروع خندق‌های ثانویه را فراهم می‌نمایند. مقطع عرضی خندق‌های مورد مطالعه به علت گسترش اراضی سست و شدیدا انحلال‌پذیر U شکل می‌باشد. همچنین مقطع U شکل نشان‌دهنده تاثیر روان آب‌های زیرسطحی نیز می‌باشد (پویسون و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۳۰) و مقطع V شکل فقط در میکرو خندق‌های و آستانه‌های فرسایش خندقی به علت غالب بودن فرسایش خطی جریان‌های پراکنده دیده می‌شود که در مراحل پیشرفته و ایجاد خندق بالغ مقطع عرضی همه خندق بدون استثناء U شکل می‌باشد. اساسا آبکندها به دو صورت پیوسته و ناپیوسته می‌باشند که آبکندهای پیوسته بخشی از شبکه‌ی زهکشی می‌باشند در صورتی که آبکندهای ناپیوسته از شبکه زهکشی جدا هستند (پویسون و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۵۹). سیستم آبکندهای منطقه مورد مطالعه ناپیوسته می‌باشد به این دلیل جریان‌های آبی موجود در منطقه جدا از سیستم گسترش خندق‌های محدوده مورد مطالعه می‌باشد ولی ممکن است در دهه‌های گذشته در طول جریان سیلابی رودخانه آجی چای بخشی از منطقه نیز متاثر می‌شده است. ولی در حال حاضر به علت ایجاد سد بر روی رودخانه آجی چای از یک طرف و لایروبی جریان رودخانه آجی چای به خاطر باز شدن مسیر رودخانه جهت انتقال به دریاچه ارومیه، تحول خندق‌های منطقه کاملا جدا از جریان رودخانه آجی چای می‌باشد. جریان هیدرولوژیکی خندق‌های مورد مطالعه، فقط در طول فصول مرطوب و به‌وسیله بارش‌های رگباری منطقه به علت

۲۷- پدیده پای پینگ (piping) عبارت است از جریان زیرزمینی و زیرشویی مواد قابل انفصال و انحلال که گاهی به آن فرسایش تونلی نیز می‌گویند. فرسایش پای پینگ در روی دامنه‌های شیب‌دار منجر به شکل‌گیری فرسایش شیاری متراکم به‌صورت بدلند و در زمین‌های هموار غالبا پیدایش و توسعه گالی را به دنبال دارد (هولدن و جونز، به نقل از عابدینی، ۱۳۸٤: ۱۲۲).

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

تمرکز بسیار بالای جریان ناشی از نفوذپذیری بسیار اندک تشکیلات زمین‌شناسی منطقه، تامین می‌گردد؛ بنابراین سیستم خندق‌های مورد مطالعه از نوع ناپیوسته می‌باشد.



شکل ۵: دیواره‌ی خندق بسیار فعال با ارتفاع بیش از ۲ متر. جهت جریان در حال زیربری بوده و ناگهان حجم بسیار انبوهی از مواد به داخل خندق ریزیش خواهد کرد. انحنای جریان و کاوش بسیار محسوس دامنه مقابل باعث خمیدگی خندق می‌گردد. ریزش ناشی از زیربری دیوارهای جریان از مهم‌ترین مکانیسم‌های گسترش عرضی خندق می‌باشد. مقدار عریض شدگی ناشی از ریزش گاها تا یک متر هم می‌رسد به دلیل بافت سنگین خاک‌های منطقه ریزش به حالت واریخته با حجم بسیار زیاد می‌باشد شکل ٦: مرحله اولیه ایجاد فرسایش شیاری یا خطی که تبدیل به فرسایش خندقی می‌گردد. به تخریب پوشش گیاهی و مخصوصا بیرون‌زدگی ریشه گیاهان توجه گردد. شوری بسیار بالای خاک منطقه که هم در افق‌های مختلف خاک رگه‌های نمکی دیده می‌شود و همه در سطح زمین به‌صورت متبلور ظاهر می‌گردد. شکل مقطع عرضی تمام خندق‌ها U شکل می‌باشد.

تحلیل شاخص WS در ماه‌های مختلف سال

پژوهشگران بیان کرده‌اند که خشک و تر شدن دوره‌ای می‌تواند باعث کاهش مقاومت کششی طی فصول شود. شرایط اقلیمی می‌تواند از یک طرف موجب افزایش پراکنش رس و در نتیجه، افزایش مقاومت کششی خاک دانه‌های خشک شود و از طرف دیگر، خشک و تر شدن دوره‌ای می‌تواند مقاومت کششی را کاهش دهد. هم‌چنین، مقدار افزایش مقاومت در نواحی گسیختگی (در اثر پیوستن ذرات) و کاهش مقاومت در اثر ضعیف شدن نواحی گسیختگی (در اثر خشک و تر شدن دوره‌ای متوالی) بستگی به مدیریت زراعی و تناوب کشت دارد (کی و دکستر[۲۸]، ۱۹۹۲: ۳۰۷). تحلیل نتایج شاخص WS نشان می‌دهد که به غیر از دی ماه در بقیه ماه‌های سال شاخص WS منفی می‌باشد. ماه‌هایی از سال که دارای نوسان رطوبتی منفی می‌باشند برای فرسایش خندقی مستعد می‌باشند بنابراین بر

28- Key and Dexter

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

مبنای نتایج (جدول ٤) منطقه مورد مطالعه تقریبا در تمام ایام سال نوسان رطوبتی خاک در جهت فرسایش خندقی مستعد می‌باشد؛ بدین مفهوم که در صورت وقوع بارش شدید یا رگباری در منطقه فرسایش خاک صورت خواهد گرفت؛ بنابراین شرایط اقلیمی منطقه جهت ایجاد فرسایش خندقی بسیار مستعد می‌باشد.

جدول ٤- نتایج شاخص WS برای ماه‌های سال در منطقه مورد مطالعه

ماه	T	P	RP	WS
دی	-۱/۲	۱۲/۸۵	۱۷٤	۱۵۷/۸۵
بهمن	۰/۳۳	۱۸/۱	۲۱۹/۹	-٦٤۸/۲٦٤
اسفند	۵/۳	۱۹/۵۷	۳٦۹	-۵۰/۰۵۲٦
فروردین	۱۱/٤	۳٦/۵٤	۵۵۲	-۱۱/۸۸۱۱
اردیبهشت	۱٦/٤٦	۳۹/٦	۷۰۳/۸	-۳/۱۵۸۲
خرداد	۲۱/۸	۱۰/۱٤	۸٦٤	-۲۹/٤۹۳
تیر	۲۵/۸	۸/٤٤	۹۸٤	-۲۹/٦۹۹۵
مرداد	۲۵/٦	۲/۲٦	۹۷۸	-۳۵/۹٤۳۱
شهریور	۲۱/۱	٤/۳۷	۸٤۳	-۳۵/۵۸۲٦
مهر	۱٤/٤	۸/۸٤	٦٤۲	-۳۵/۷٤۳۳
آبان	۷/۵	۲٦/۵۱	٤۳۵	-۳۱/٤۹
آذر	۱/٦	۱٤/۷	۲۵۸	-۱٤٦/۵۵

.

نتیجه‌گیری

نتایج طبقه‌بندی خاک‌های مختلف بر مبنای روش‌های مختلف نشان داد که درجه شوری خاک‌های منطقه بسیار بالا بوده و همچنین بر مبنای شاخص‌های تحقیق، خطر بیابان‌زایی در منطقه بسیار بالا می‌باشد. نتایج تحلیل بافت نمونه‌های برداشت شده نشان داد که ریزدانه بودن ذرات تشکیل‌دهنده سازندهای زمین‌شناسی مانند سیلت، ماسه و رس، بخصوص نسبت بالای سیلت به دلیل حساسیت زیاد سیلت به فرسایش، ساختمان ضعیف خاک‌دانه‌ها شرایط بسیار مناسبی برای پیشروی طولی و عرضی خندق‌ها فراهم نموده است. به‌طوری که در خاک‌های ریزدانه و سنگین به دلیل زیاد بودن درصد سیلت (بیش از ٦۰ درصد در خاک‌های منطقه) و رس (بیش از ۲۰ درصد)، درصد اشباع (بالاتر از حد آستانه شروع فرسایش خندقی) و درصد نگهداشت آب در خاک خطر گسترش و ایجاد فرسایش خندقی را بالا می‌برد به‌طوری که مشاهدات میدانی و پایش مورفومتری خندق‌های منطقه موید چنین حالتی در منطقه می‌باشد. این نتایج با نتایج (تاجیک ۱۳۸۱؛ احمدی ۱۳۷٤، قدوسی و داوری ۱۳۹۱؛ اسماعیل نژاد و همکاران ۱۳۹۱؛ کی و همکاران[29] ۱۹۹۲؛ کاپرا و همکاران ۲۰۱۲؛ مارکوس و همکاران[30] ۲۰۱۳) مطابقت دارد.

29- Key et al
30- Markus et al

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

نتایج شاخص‌های اقلیمی شامل شاخص رطوبت موجود در سازندهای منطقه نشان دهنده پتانسیل بسیار بالای منطقه برای ایجاد خندق زایی در منطقه می‌باشد. نتایج این قسمت با نتایج پویسون و همکاران (۲۰۰۳) عابدینی (۱۳۸٤ و ۱۳۹۱) ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) منطبق می‌باشد. تجمع بالای املاح محلول مخصوصا مقادیر بالای (EC و SAR) در سطح دشت با شیب بسیار کم[۳۱] احتمال ایجاد فرسایش انحلالی را بالا می‌برد، همچنین باید توجه داشت که افزایش هدایت الکتریکی خاک به‌طور معمول ناشی از افزایش املاح محلول در خاک می‌باشد افزایش املاح محلول در خاک شرایط ایجاد فرسایش تونلی را شدیدا افزایش می‌دهد مخصوصا وقتی که عناصر محلول و مخصوصا سدیم در خاک نسبتش بسیار زیاد باشد که در خاک‌های منطقه بسیار بالا می‌باشد. قدوسی و داوری (۱۳۹۱) در بررسی تاثیر عناصر شیمیایی بر ایجاد فرسایش خندقی نتیجه گرفتند که شکل‌گیری و ایجاد انواع شبکه خندق‌ها تابعی از درصد اشباع خاک و هدایت الکتریکی بوده به‌طوری که با افزایش املاح محلول موجود در خاک رخداد فرسایش تونلی و ایجاد خندق‌های جبهه‌ای مرکب به شدت افزایش می‌یابد. این موضوع نیز تقریبا توسط تمامی پژوهشگران بیان شده است.

نتایج تحقیق نشان داد که شکل‌گیری فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه و گسترش آن تحت تاثیر دو عامل عوامل اقلیمی از یک طرف که باعث ایجاد رواناب و تغییر در میزان نفوذپذیری و از طرف دیگر تحت تاثیر ویژگی‌های و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه؛ به عبارت دیگر اکثر خندق‌های منطقه تحت تاثیر نیروی تنش برشی و قدرت حمل روان آب‌های متمرکز همراه با انحلال مواد موجود در نهشته‌ها و خاک‌ها، در اثر رخداد فرسایش انحلالی گسترش یافته‌اند. در منطقه کم شیب مورد مطالعه به دلیل تجمع املاح محلول رخداد فرسایش تونلی زیاد می‌باشد. به‌طوری که سایر عوامل نقش کنترل‌کننده و یا تشدیدکننده دو عامل مذکور را دارند؛ زیرا یکی عامل فرساینده و دیگری عامل فرسایش‌پذیر محسوب می‌شود. مطلب مورد ذکر توسط طیف بسیار وسیعی از پژوهشگران بیان شده است.

بر این اساس نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌نماید که جلوگیری از تمرکز رواناب‌ها و بهسازی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه عامل اصلی در جلوگیری از ایجاد و گسترش فرسایش خندقی در منطقه خواهد بود.

۳۱- شکل‌گیری خندق‌ها در اراضی کم شیب و هموار ٦/١ برابر اراضی نسبتا شیب‌دار است. این میزان در فصول بهار به ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. زیرا در اراضی کم شیب خاک‌زایی به‌خوبی صورت گرفته و بعلاوه روان آب‌ها فرصت کافی برای هیدرولیز، انحلال و جداسازی عناصر و خارج کردن مواد سست را دارند (عابدینی، ۱۳۹۲: ۱۰۳).

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

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۷۸)، «***ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)***»، جلد ۱، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

- اسماعیل‌نژاد، لیلا؛ سیدمحمدی مرشت، جواد؛ بخشی‌پور، رمضان (۱۳۹۱)، «تاثیر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک بر مورفولوژی آبکندها در اراضی مارنی جنوب استان گیلان»، ***پژوهش‌های آبخیزداری***، شماره ۹۷، صص ۱۶-۷.

- تاجیک، فواد؛ رحیمی، حسن؛ پذیرا، ابراهیم (۱۳۸۱)، «اثر مواد آلی خاک، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بر مقاومت کششی خاک دانه‌ها»، ***علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی***، شماره ۳، صص ۱۶۰-۱۵۱.

- ثروتی، محمدرضا؛ قدوسی، جمال؛ داده‌خواه، معصومه (۱۳۸۷) «عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها»، ***پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی***، شماره ۷۸، صص ۲۰-۳۳.

- ثقفی، مهدی؛ اسماعیلی، رضا (۱۳۸۸)، «تحلیل‌های مورفومتری عوامل تشکیل آبکند در حوضه‌ی آبریز شاخن (استان خراسان جنوبی)»، ***مجله جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۵، صص ۱۵۰-۱۳۳.

- خزایی، مجید؛ شفیعی، اردشیر؛ ملایی، علی (۱۳۹۱)، «بررسی تاثیر عوامل موثر بر توسعه فرسایش آبکندی در حوضه آبخیز مارون»، ***مجله پژوهش خاک (علوم خاک و آب)***، شماره ۲، صص ۱۶۲-۱۵۳.

- رنگ‌آور، عبدالصالح (۱۳۸۸)، «بررسی برخی از ویژگی‌های خاک آبکندی خراسان رضوی»، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، صص ۱۸۸۰-۱۸۷۶.

- زمان‌زاده، سیدمحمد؛ احمدی، مهدی (۱۳۹۲)، «تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در شکل‌گیری و گسترش خندقی (مطالعه موردی: فارس، منطقه دشت کهور لامرد)»، ***پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی***، شماره ۲، صص ۱۵۶-۱۳۵.

- عابدینی، موسی (۱۳۸٤)، «پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب‌غرب دشت هادی‌شهر (شمال‌غرب آذربایجان‌شرقی) از طریق روش‌ها و تکنیک‌های جدید»، ***مجله جغرافیا و توسعه***، شماره ۲، صص ۱۳٤-۱۱۳.

- عابدینی، موسی (۱۳۸۸)، «بررسی کمی مسائل هیدروژئومورفولوژی حوضه‌ی آبریز لیکوان چای با تاکید بر فرسایش خاک و رسوب‌دهی (جنوب‌شرق استان اردبیل)»، ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۵، صص ۷۱-۸۸.

- عابدینی، موسی (۱۳۹۲)، «تجزیه‌وتحلیل کمی فرسایش خندقی در حوضه‌ی آبخیز کلقان چای (شرق سهند)»، ***فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای***، شماره ۷، صص ۹۷-۱۱۰.

- قدوسی، جمال؛ داوری‌راد، علی‌اکبر (۱۳۹۱)، «تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش آبکندی و مورفولوژی آبکندها»، مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب، تهران، ٦ تا ۹ شهریور، صص ۸-۱.

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

- ملکی، امجد؛ احمدی، محمد؛ میلادی، بهزاد (۱۳۹۱)، «شبیه‌سازی مناطق مستعد خندق زایی با استفاده از روش SPI در حوضه رودخانه مرگ»، ***پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی***، شماره ۳، صص ۲۸-۳۳.

- Barzegar, A. R., Rengasamy, P., Oades, J. M., (1995), "effect of clay type and rate of wetting on the mellowing of compacted soils", ***Geoderma***, 68: 39-49.

- Bou Kheir, R.,Wilson, J., Deng, Y., (2007), "Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. Earth Surf. Process", ***Landforms***, 32: 1770–1782.

- Bouchnak, H., Felfoul, M. S., Boussema, M. R., Snane, M. H., (2009), "Slope and rainfall effects on the volume of sediment yield by gully erosion in the Souar lithologic formation (Tunisia)", ***CATENA***, 78: 170-177.

- Bull, L. J., Kirkby, M. J., (1997), "Gully processes and modelling", ***Prog. Phys. Geogr***, 21: 354–374.

- Capra, A., Ferro, V., Porto, P., Scicolone, B., (2012), "Quantifying interrill and ephemeral gully erosion in a small Sicilian basin. ***Z. Geomorphol. Suppl***, Issues, 56: 9–25.

- Chaplot, V., (2013), "Impact of terrain attributes, parent material and soil types on gully erosion", ***Geomorphology***, 186: 1–11.

- Conoscenti, C., Agnesi, V., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Märker, M., (2014), "A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy", ***Environmental Earth Sciences***, 70 (3): 1179-1195.

- Dotterweich, M., Stankoviansky, M., Minar, J., Koco, S., Papco, P., (2013), "Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia", ***Geomorphology***, 201: 227-245.

- Gomez, B., Banbury, K., Marden, M., (2003), "Gully erosion and sediment production, Te Weraroa Stream, New Zealand", ***Journal of Water Resources Research***, 39 (7):1187-1192.

- H Bouchnak, B., Felfoul, M. S., Boussema, M. R., Snane. M .H., (2009), "Slope and rainfall effects on the volume of sediment yield by gully erosion in the Souar lithologic formation (Tunisia), CATENA, 78 (15): 170-177

- Hillel, D., (1980), "***Fundemental of soil physics***", Academic press, New York.

-Imeson, A. C., Kwaad, F. J., (1980), "Gully types and gully prediction", ***Geogr. Tijdschr***. 14: 430–441.

- Ingrid E. L., Arpita, N., Spiegel, T., (2015), "Gully morphology, hillslope erosion, and precipitation characteristics in the Appalachian Valley and Ridge province, southeastern USA, ***CATENA***, 133: 221-232.

- Istanbulluoglu, E., Rafael, L., Flores-Cervantes, H., (2005), "Implications of bank failures and fluvial erosion for gully development: Field observations and modeling", ***Journal of Geophysical Research***, 110: 1014-1029.

- Key, B. D., Dexter., A. R., (1992), "The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown earth", ***Austral. J. Soil Res***, 30: 297-310.

- Kirkby, M. J., Bracken, L. J., (2009), "Gully processes and gully dynamics, Earth Surf", ***Process Landforms***, 1851: 1841–1851.

- Luca, F., Conforti, M., Robustelli, G., (2011), "Comparison of GIS-based gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy", ***Geomorphology***, 134: 297–308.

- Magliulo, P., (2012), "Assessing the susceptibility to water-induced soil erosion using a geomorphological, bivariate statistics-based approach", ***Environ. Earth Sci***, 67: 1801–1820.

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

- Markus, D., Stankoviansky, M., Jozef Minar, S., Pavol, P., (2013), "Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia", ***Geomorphology***, 201 (1): 227-245.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C., (2003), "Gully erosion and environmental change: importance and research needs", ***Catena***, 50: 91–133.
- Poesen, J., Vandekerckhove, L., Nachtergaele, J., Oostwoud Wijdenes, D., Verstraeten, G.,Van Wesemael, B., (2002) Gully erosion in dryland environments. In: Bull, L.J.,Kirkby, M. J. (Eds.), Dryland Rivers: ***Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels***, Wiley & Sons, Chichester, England, pp 229–262.
- Posesen, J., Nachtorgale, J., Verstrac, G., (2003), "Gully erosion and environmental change: importance and research needs", ***Catena***, 50: 91-133.
- Pulice, I., Cappadonia, C., Scarciglia, F., Robustelli, G., Conoscenti, C., De Rose, R., Rotigliano, E., Agnesi, V., (2012), "Geomorphological, chemical and physical study of "calanchi" landforms in NW Sicily (southern Italy)", ***Geomorphology***, 153–154: 219–231.
- Richter, G., Negendank, J., (1977), "Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle River", ***Earth Surface Processes***, 2: 261-78.
- Shahrivar, A., Boon Sung, C., Jusop, S., Rahim, A., Soufi, M., (2012), "Roles of SAR and EC in Gully Erosion Development (A Case Study of Kohgiloye va Boyerahmad Province, Iran)", ***Journal of Research in Agricultural Science***, 8: 1- 12.
- Stefano, C. Di., Ferro, V., Pampalone, V., Sanzone, F., (2013), "Field investigation of rill and ephemeral gully erosion in the Sparacia experimental area, South Italy", ***CATENA***, 101: 226-234.
- Stefano, C. Di., Ferro, V., Pampalone, V., Sanzone, F., (2013), "Field investigation of rill and ephemeral gully erosion in the Sparacia experimental area, South Italy", ***CATENA***, 101: 226-234.
- Torri, D., Poesen, J., Borselli, L., Bryan, R., Rossi, M., (2012), "Spatial variation of bed roughness in eroding rills and gullies", ***Catena***, 90: 76–86.
- Valentin, C., Poesen, J., Li, Y., (2005), "Gully erosion: impacts, factors and control", ***Catena***, 63: 132–153.
- Zucca, C., Canu, A., Della Peruta, R., (2006), "Effects of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gullies in an agropastoral area in Sardinia (Italy)", ***Catena***, 68: 87–95.

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