

عامل فرسایش پذیری خاک، معادله جهانی فرسایش خاک

## نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در تشکیل آبکندها در اراضی گندم دیم شمال غرب ایران

علی‌رضا واعظی<sup>۱</sup> و یاسین صالحی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۳/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر ویژگی‌های خاک بر فرسایش آبکندی در حوزه آبخیز قرانقوچای واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی انجام گرفت. برای انجام این پژوهش منطقه کشاورزی دیم به ابعاد ۳۰ کیلومتر در ۳۰ کیلومتر که تحت تأثیر فرسایش آبکندی بود، انتخاب شد و در ۳۶ شبکه مقدار فرسایش آبکندی و ویژگی‌های آبکندها همراه با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که فرسایش آبکندی در منطقه از ۲/۶۴ تن در کیلومتر مربع تا ۲۴۲/۷ تن در کیلومتر مربع تغییر کرد و میانگین آن در منطقه ۳۸/۲۱ تن در کیلومتر مربع است. فرسایش آبکندی هم‌بستگی معنی‌داری با درصد شن ( $r=0/28$ )، رطوبت اشباع خاک و پایداری خاک دانه ( $r=0/27$ )، ( $r=-0/29$ ) دارد. پایداری خاک دانه برخلاف دو ویژگی دیگر خاک نقش کاهشی در فرسایش آبکندی دارد. هیچ‌گونه ارتباطی بین فرسایش آبکندی و درصد سیلت و عامل فرسایش پذیری خاک (K) برآورد شده با معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) یافت نشد. این مطالعه نشان داد که پایداری خاک دانه عمده‌ترین ویژگی خاک در تعیین فرسایش آبکندی در اراضی دیم است. نگهداری بقایای گیاهی نخستین راه کار برای افزایش محتوای ماده آلی خاک، بهبود پایداری خاک دانه و در نتیجه کاهش حساسیت خاک به فرسایش آبکندی در منطقه است.

**کلیدواژه‌ها:** درجه شیب، ساختمان خاک، درصد سیلت،

### مقدمه

فرسایش خاک به وسیله آب یکی از عوامل اصلی تغییر شکل ظاهری زمین و تخریب منابع زیست‌محیطی است که امکان دسترسی به امنیت غذایی و آب در جهان را محدود کرده است [۱۱]. از مهم‌ترین عوارض این پدیده در پوسته زمین که تغییرات عمده‌ای در مدت‌زمان نسبتاً کم در سطح زمین پدید می‌آورد، آبراهه‌های حاصل از فرسایش است که به اشکال و ابعاد مختلف قابل مشاهده‌اند [۴۸]. فرسایش آبکندی یکی از انواع فرسایش آبی است که سهمی بین ۱۰ تا ۹۴ درصد در تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز در کشورهای مختلف دارد [۲۷].

فرآیندهای مختلفی در تشکیل آبکندها مؤثر هستند که از آن جمله می‌توان به گسترش فرسایش آبراهه‌ای و فرسایش تونلی اشاره کرد. گسترش فرسایش تونلی و فروریزی سقف دهلیزها و دالان‌های تشکیل‌شده در اثر رشد افقی آن باعث شکل‌گیری فرسایش آبکندی می‌شود [۱۸]. این فرآیندها تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارند. بسیاری از پژوهش‌گران عواملی مانند مقدار بارندگی، کاربری زمین، ناهمواری‌های سطح، ویژگی‌های شیب (درجه، جهت و طول)، وسعت عرصه زهکشی، پوشش گیاهی، نوع سازند زمین‌شناسی و مقاومت خاک را در ایجاد و گسترش فرسایش آبکندی گزارش کرده‌اند [۵، ۶ و ۷].

در پژوهش‌های مختلف علل وقوع آبکندها مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا لس‌چن و همکاران [۲۰] با مطالعه زمین‌های اطراف پیشانی آبکندها، آسیب‌پذیری به فرسایش آبکندی در مناطق نیمه‌خشک جنوب شرق اسپانیا را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند فرسایش آبکندی در زمین‌های دیم رها شده نسبت به زمین‌های کشاورزی بیش‌تر است. مقصودی و همکاران [۲۲] در مطالعه‌ای به منظور پهنه‌بندی حساسیت خاک به آبکند فرسایش آبکندی در حوزه زواریان قم گزارش نمودند بیش‌تر آبکندها در زمین‌های مرتعی و کشاورزی ایجاد و گسترش‌یافته است و زمین‌های با کاربری باغی و مسکونی کم‌ترین عوارض تشکیل آبکند را دارند. تجری و کاردل [۳۶] در پژوهشی به منظور بررسی تأثیر فرسایش آبکندی بر رطوبت در دو کاربری مرتع و دیم رها شده در حوزه آبخیز کال شور استان گلستان مشاهده کردند که تغییرات رطوبت خاک سطحی در کاربری مرتع با فاصله از لبه آبکند نسبت

۱- نویسنده مسئول و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان. پست الکترونیک:

vaezi.alireza@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شهرستان هشتروند واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی محدوده‌ای از اراضی دیم در ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۲۴ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۳ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۸ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۱۳ ثانیه طول شرقی انجام گرفت. بیش‌ترین ارتفاع منطقه ۳۲۰۰ و کم‌ترین ارتفاع آن ۵۰۰ متر از سطح دریا است. میانگین بیش‌ترین دمای سالیانه ۲۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین کم‌ترین آن ۸/۵ درجه سانتی‌گراد بوده و میزان میانگین بارندگی سالانه در منطقه ۳۴۰ میلی‌متر است. اقلیم منطقه نیز بر اساس طبقه‌بندی دومارتون نیمه‌خشک سرد می‌باشد. رژیم حرارتی و رطوبتی منطقه به ترتیب مزیک و زریک است [۳]. کاربری زمین اغلب کشاورزی دیم و بافت خاک آن‌ها عمدتاً لوم رسی است. در بیش‌تر نقاط منطقه فرسایش آبی به شکل‌های سطحی، شیاری و آبکندی دیده می‌شود و آبکندها بیش‌تر در شیب‌های ۵ تا ۲۵ درصد گسترش یافته‌اند. شکل ۱ نمونه‌ای از فرسایش آبکندی در اراضی کشاورزی دیم در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- چشم‌اندازی از فرسایش آبکندی در اراضی کشاورزی دیم در شهرستان هشتروند

Fig 1. A view of gully erosion in rainfed agricultural land in Hashtroud Township

## انتخاب آبکندها

برای انجام این پژوهش منطقه‌ای تحت کشاورزی دیم به ابعاد ۳۰ کیلومتر در ۳۰ کیلومتر در حوزه آبخیز قرائقوچای انتخاب گردید. مطالعات پیشین در منطقه نشان می‌دهد که در محدوده مطالعاتی، پراکنش بارندگی یکنواخت است [۴۲] منطقه به صورت ۳۶ منطقه مربعی شکل به ابعاد ۵ کیلومتر شبکه‌بندی شد (شکل ۲). در این منطقه ۲۲۲ آبکند مورد بررسی قرار گرفت که دارای شیب‌های متفاوتی بود. کل آبکندهای منطقه در کلاس‌های شیب ۲ درصدی گروه‌بندی شدند و برای حذف تأثیر درجه شیب بر

به کاربری دیم کم‌تر بوده و رطوبت خاک آبکندها در کاربری مرتع بیش‌تر از کاربری دیم است. امیراحمدی [۱] در مطالعه‌ای با هدف تعیین آستانه عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها در حوزه آبخیز سنگانه کلات با استفاده از فن داده‌کاوی گزارش کرد که ضعف پوشش گیاهی و وجود سیلت زیاد و نفوذپذیری اندک خاک از عوامل شکل‌گیری فرسایش آبکندی است. فریدگیلو و قضاوی [۱۰] با بررسی نقش ویژگی‌های خاک بر گسترش فرسایش آبکندی در حوزه آبخیز قوری‌چای نشان دادند که رابطه منفی بین گسترش طولی آبکند و ویژگی‌های خاک وجود دارد. تانگچان و همکاران [۳۷] در مطالعه‌ای به منظور بررسی اثر ویژگی‌های فیزیکی خاک روی گسترش ۱۹ گالی در کشور چین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر گسترش آبکندها را مقدار درصد رس خاک، توپوگرافی (از جمله ارتفاع محل و فاصله از رأس آبکند) عنوان کردند. تیچاوسکی و همکاران [۳۸] در مطالعه‌ای در کشور چک نشان دادند که بارش‌های با شدت بیش از ۴۰ میلی‌متر بر ساعت و عوامل محیطی و انسانی مانند ساخت و ساز، خطوط راه آهن و استفاده از آب‌های زیرزمینی از عوامل تشدیدکننده فرسایش آبکندی هستند. اوپراکو و لاوار [۲۵] با بررسی رابطه بین عمق و عرض آبکندها در دو نوع سازند زمین‌شناسی در فلات آیدا-آنکاپا در شمال نیجریه مرکزی گزارش کردند که تغییرات عمق نسبت به عرض آبکندها با گسترش آبکندها رابطه مثبت و معنی‌داری دارد و با افزایش آسیب‌پذیری به فرسایش از هم‌بستگی عمق و عرض کاسته می‌شود. جین‌وین و همکاران [۱۴] در مطالعه‌ای بر روی اثر توپوگرافی زمین بر فرسایش آبکندی اشاره کردند که ساختار زمین (لایه‌های زیرین خاک) نقش مهمی در وقوع و توسعه فرسایش آبکندی دارد.

به طور کلی بررسی پژوهش‌های انجام گرفته نشان دهنده تأثیر عوامل مختلف طبیعی از جمله شدت بارندگی، پوشش گیاهی، رطوبت، توپوگرافی، شیب زمین و ویژگی‌های خاک بر گسترش فرسایش آبکندی است. مناطق دیم یکی از عرصه‌های مهم گسترش فرسایش آبکندی هستند. گزارش‌های مختلفی از وقوع فرسایش آبکندی در حوزه‌های آبخیز سد اکباتان همدان [۱۲] در استان مازندران [۴۷] و حوضه صلوات آباد استان کردستان [۱۵] ارائه شده است. گرچه تشکیل آبکندها تحت تأثیر عوامل مدیریتی در زمین‌های کشاورزی می‌تواند قرار گیرد اما عوامل طبیعی از جمله ویژگی‌های خاک نیز می‌توانند در افزایش حساسیت خاک به تشکیل آبکند مؤثر باشند. گسترش آبکندها در زمین‌های زراعی عاملی مهم در کوچک شدن واحدهای زراعی و افزایش هزینه‌های کاشت و برداشت است. شناخت ویژگی‌های خاک مؤثر بر تشکیل آبکندها می‌تواند در تعیین حساسیت اراضی کشاورزی به فرسایش آبکندی سودمند باشد. بر این اساس این پژوهش با هدف تعیین مقدار فرسایش آبکندی و اثرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در تشکیل آبکندها در اراضی دیم حوزه قرائقوچای انجام گرفت.

### ویژگی‌های خاک حوزه زهکش آبکند

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌های خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح زهکش هر آبکند از سه بخش (پایین‌دست، میان‌دست و بالادست زمین حاشیه آبکند) برداشت شد. برای تعیین چگالی ظاهری خاک، نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از سیلندر فلزی [۱۳] به ارتفاع ۷ سانتی‌متر و قطر ۴/۷ سانتی‌متر برداشت شد. برای تعیین پایداری خاک‌دانه‌ها نیز نمونه‌هایی از خاک‌دانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر از خاک به وسیله الک‌های مربوطه تهیه شد. همچنین نمونه‌های خاک دست‌خورده برای آزمایش‌های رایج برداشت شد. این نمونه‌ها پس از گذراندن از الک ۲ میلی‌متری برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری [۱۳]، pH خاک به وسیله pH سنج در گل اشباع [۱۹] و درجه شوری به وسیله EC سنج بر مبنای رسانایی الکتریکی عصاره گل اشباع (EC) [۴۴] اندازه‌گیری گردید. کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون [۱۶]، محتوای کربن آلی به روش والکی بلاک [۴۳] تعیین شد. پایداری خاک‌دانه‌ها در ۱۰۰ گرم از نمونه‌های خاک‌دانه به روش الک تر با جداسازی خاک‌دانه‌های پایدار در آب [۱۷] به مدت یک دقیقه تعیین شد و میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های پایدار در آب محاسبه شد. نفوذپذیری خاک به وسیله استوانه‌های مضاعف با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر تعیین شد [۴]. برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری در معادله جهانی فرسایش خاک (USLE<sup>۱</sup>) پنج ویژگی خاک شامل درصد شن درشت، درصد شن بسیار ریز و سیلت، درصد ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری خاک بر اساس رابطه زیر استفاده شدند [۴۵]:

(۳)

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.4} \times (12 - \%OM) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3)$$

که در آن M حاصل ضرب (درصد رس - ۱۰۰) و (درصد سیلت + درصد شن ریز)، OM درصد ماده آلی، b کلاس ساختمان خاک‌دانه‌ها و c کلاس نفوذپذیری خاک است.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

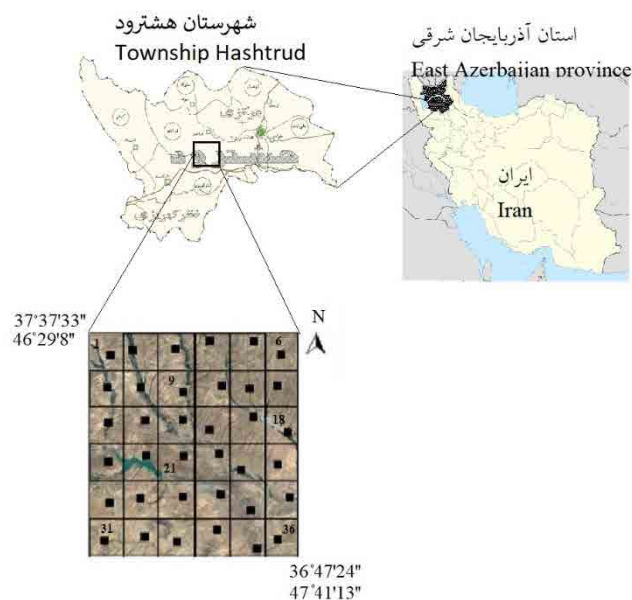
برای تحلیل داده‌ها، فرسایش آبکندی به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های خاک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند و همبستگی بین آن‌ها با استفاده از شاخص پیرسون (r) تعیین گردید. کلیه تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و رسم نمودارها در نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ انجام گرفت.

### نتایج

#### ویژگی‌های خاک عرصه‌های زهکش آبکند

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک عرصه‌های زهکش

آبکندها، تنها آبکندها گسترش یافته در دامنه‌های با شیب ۸ تا ۱۰ درصد انتخاب شدند. بر این اساس ۵۵ عارضه فرسایش آبکندی در منطقه برای بررسی رابطه بین تشکیل آبکند و ویژگی‌های خاک انتخاب شدند. عمق، عرض، طول، مساحت سطح زهکش آبکندها اندازه‌گیری شدند. عمق و عرض در سه نقطه در طول شاخه‌های آبکند (پایین‌دست، میان‌دست و بالادست آبکند) اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها محاسبه شد. برای تعیین طول آبکند مجموع طول تمام شاخه‌های آبکند از رأس آبکند تا نقطه خروجی آن تعیین شد. مساحت سطح مقطع آبکند نیز بر مبنای شکل مقطع که عموماً سهمی شکل بود، با استفاده از داده‌های عرض و عمق آبکند در سه موقعیت در طول آبکند تعیین و میانگین آن به عنوان سطح مقطع عرضی آبکند محاسبه شد [۴۱].



شکل ۲- موقعیت منطقه مطالعاتی در شهرستان هشتروود در جنوب استان آذربایجان شرقی

Fig 2. Location of study area in Hashtrood County in south of East Azerbaijan province

### تعیین فرسایش آبکندی

مقدار هدر رفت خاک از آبکند (فرسایش آبکندی) با استفاده از رابطه‌های زیر به دست آمد [۲۱]

$$Vg = \left(\frac{1}{2} \bar{W} \times \bar{H}\right) \times L \quad (1)$$

که در آن Vg حجم آبکند (مترمکعب)،  $\bar{W}$  میانگین عرض آبکند (متر) و  $\bar{H}$  میانگین عمق آبکند (متر) و L طول آبکند (متر) است

$$GE = \frac{Vg \times BD}{A} \quad (2)$$

که در آن GE فرسایش آبکندی (تن در کیلومتر مربع)، BD چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و A مساحت سطح زهکش آبکند (کیلومتر مربع) است.

آبکنندی در منطقه است. افزایش رطوبت اشباع خاک به مفهوم زهکشی نامناسب خاک است که به واسطه نوع بافت خاک، پوشش گیاهی و مواد آلی تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۳۵]. وجود هم‌بستگی مثبت بین رطوبت اشباع و درصد رس خاک ( $r=0/41$  و  $p=0/01$ ) به مفهوم افزایش ذخیره آب در خاک با افزایش درصد رس خاک است که به نوبه خود منجر به کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. این موضوع را می‌توان در هم‌بستگی منفی بین نفوذپذیری خاک و درصد رطوبت اشباع بیان کرد ( $r=-0/28$  و  $p=0/05$ ).

جدول ۱ - برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آبکندهای مورد

بررسی

Table 1. Some physicochemical properties of the gullies in the study area

ویژگی‌های خاک Soil properties		
کم‌ترین Min	بیش‌ترین Max	میانگین Mean
ویژگی‌های فیزیکی Physical properties		
48.3	35.6	39.2
شن (%) Sand (%)		
46.4	20.2	33.1
سیلت (%) Silt (%)		
42.2	20.4	32.7
رس (%) Clay (%)		
17.42	6.08	9.26
سنگ‌ریزه (%) Gravel (%)		
1.72	1.09	1.47
چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )		
5.80	1.40	3.50
میانگین قطر خاک‌دانه (میلی‌متر) Aggregate diameter (mm)		
ویژگی‌های شیمیایی Chemical properties		
8.07	7.35	7.86
واکنش pH		
2.19	0.32	0.74
هدایت الکتریکی EC (dS/m)		
2.13	0.74	1.08
ماده آلی (%) OM (%)		
17.95	1.75	8.02
کربنات کلسیم معادل (%) CCE (%)		

آبکندهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج خاک‌های مورد بررسی در ۳۶ شبکه با توجه به میانگین درصد نسبی ذرات شن (۳۹/۲)، سیلت (۳۳/۱) و رس (۳۲/۷)، در پنج گروه بافتی لوم، لوم رسی، لوم شنی، رس سیلتی و رس شنی قرار دارند. خاک منطقه از نظر واکنش خاک (۷/۸۶) در محدوده خنثی بوده و هدایت الکتریکی آن (۰/۷۴) دسی‌زیمنس بر متر) نیز نشان از غیر شور بودن خاک داشت. محتوای ماده آلی خاک از ۰/۷۴ تا ۲/۱۳ درصد متغیر است. مقدار کربنات کلسیم معادل خاک از ۱/۷۵ تا ۱۷/۹۵ درصد تغییر می‌کند و نشان‌گر آن است که خاک کشت‌زارها در گروه خاک‌های آهکی [۳۳] قرار دارند. خاک‌های حاوی مقادیری سنگ‌ریزه از ۶/۰۸ تا ۱۷/۴۲ درصد هستند. بررسی شاخص میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های پایدار نشان می‌دهد که مقدار آن از ۰/۳۳ تا ۱/۹۱ میلی‌متر تغییر می‌کند و بیان‌گر ناپایداری ساختمانی خاک کشت‌زارها است. پایداری اندک خاک‌دانه‌ها می‌تواند عاملی مهم در افزایش حساسیت خاک‌ها به فرایندهای فرسایش آبی [۴۲] از جمله فرسایش آبکندی باشد [۲۷]. خاک‌ها از نظر نفوذپذیری در محدوده ۱/۴ تا ۵/۸ سانتی‌متر بر ساعت قرار دارند و مطابق با درجه‌بندی دفتر حفاظت خاک آمریکا (SCS) در گروه خاک‌های با نفوذپذیری متوسط قرار دارند [۲۹].

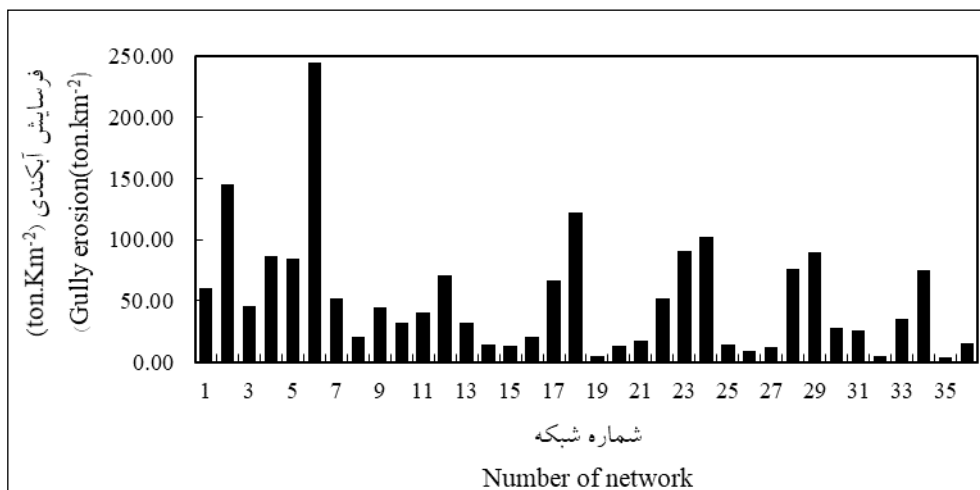
شدت فرسایش آبکندی

فرسایش آبکندی در منطقه مورد بررسی از ۲/۶۴ تن در کیلومتر مربع (در شبکه ۱۹) تا ۲۴۲/۷ تن در کیلومتر مربع (در شبکه ۶) تغییر کرد و میانگین آن در منطقه ۳۸/۲۱ تن در کیلومتر مربع است. بررسی شدت فرسایش آبکندی در منطقه و مقایسه آن به معیار فرسایش هزاردره که عبارت از ۱۰ کیلومتر در هر کیلومتر منطقه است [۲۹] نشان می‌دهد که تراکم آبکندها تنها در شبکه شماره ۸ برابر با ۱۰/۷۸ کیلومتر بر کیلومتر مربع است و به مرز فرسایش هزاردره رسیده است (شکل ۳).

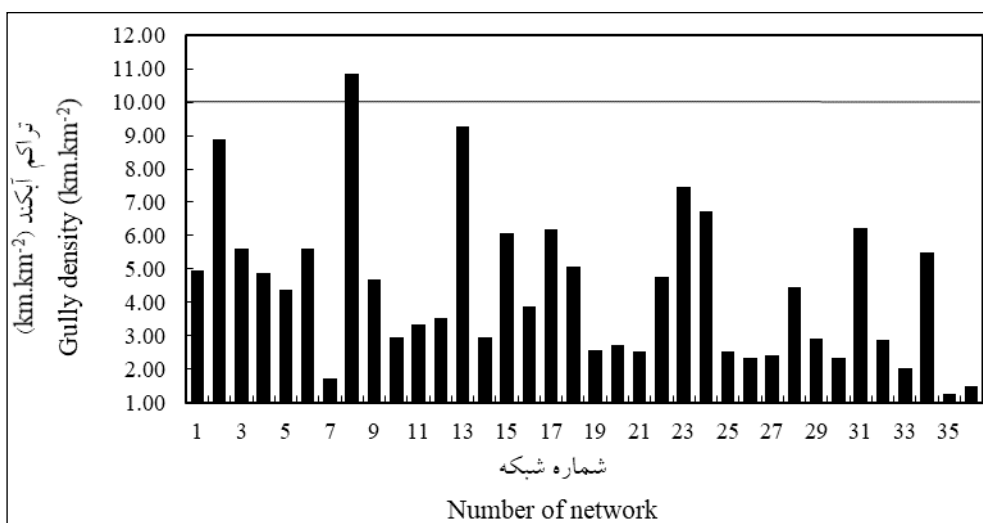
تأثیر ویژگی‌های خاک بر گسترش آبکندها

جدول ۲ نتایج ماتریس هم‌بستگی بین مقدار فرسایش آبکندی و ویژگی‌های خاک آبکندها را نشان می‌دهد. فرسایش آبکندی تحت تأثیر مستقیم درصد شن ( $r=0/28$ ) و درصد اشباع رطوبتی ( $r=0/268$ ) قرار گرفت در حالی که با میانگین قطر خاک‌دانه‌ها ( $r=-0/289$ ) هم‌بستگی منفی معنی‌دار دارد. درصد شن خاک بخشی از ذرات معدنی خاک است که در پایداری ساختمان و نفوذپذیری خاک نقش دارد.

پایداری خاک‌دانه‌ها (MWD) با میزان فرسایش آبکندی هم‌بستگی معنی‌دار و منفی دارد. افزایش قطر خاک‌دانه نشان از پایداری خاک‌دانه است این ویژگی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی خاک برای پیش‌بینی افزایش گسترش فرسایش آبکندی است [۲]. افزایش درصد رطوبت اشباع خاک، عاملی در گسترش فرسایش



(A)



(B)

شکل ۳- تغییرات فرسایش آبکندی (A) و تراکم آبکند (B) در شبکه‌های مورد بررسی  
 Fig 3. Variation of gully erosion (A) and density (B) in the study networks

شیاری، بین‌شیاری و ورقه‌ای است [۴۵]، به عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی حساسیت خاک‌های منطقه به فرسایش آبکندی نیست.

بین فرسایش آبکندی و عامل فرسایش‌پذیری خاک برآورد شده با مدل USLE هم‌بستگی معنی‌دار مشاهده نشد. این عامل که به عنوان یکی از عوامل مهم در ارزیابی حساسیت خاک‌ها به فرسایش



جدول ۲- ماتریس هم‌بستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و فرسایش آب‌کندی در ۵۵ قطعه آب‌کنند در منطقه مطالعاتی

Table 2. Correlation matrix between physicochemical soil properties and gully erosion for fifty five gullies in the study area

متغیر	Sand	Clay	Silt	OM	TNV	pH	EC	SP	K <sub>s</sub>	GL	MWD	K	GE
Sand	1												
Clay	0.82**	1											
Silt	-0.35**	-0.37**	1										
OM	-0.21	-0.20	0.89**	1									
TNV	0.07	0.05	-0.08	-0.25	1								
pH	0.35**	0.39**	-0.21	-0.23	-0.03	1							
EC	-0.18	-0.10	0.29*	0.27*	-0.20	-0.07	1						
SP	0.35**	0.41**	0.02	0.13	-0.17	0.14	-0.27*	1					
K <sub>s</sub>	0.05	0.01	-0.75**	-0.70**	-0.09	0.30*	-0.26	-0.28*	1				
GL	-0.08	-0.15	0.04	-0.10	-0.03	0.01	-0.31*	0.11	0.07	1			
MWD	-0.42**	-0.40**	0.46**	0.39**	-0.37**	-0.10	0.26*	-0.01	-0.21	0.40**	1		
K	-0.13	-0.07	0.47**	0.42**	-0.31*	0.07	-0.08	0.35**	-0.23	-0.04	0.24	1	
GE	0.28*	0.24	-0.22	-0.18	-0.09	0.25	0.13	0.27*	0.12	-0.10	-0.29*	0.01	1

OM: organic matter; TNV: total neutralizing value; pH: power hydrogen; EC: electrical conductivity; SP: saturation percent; K<sub>s</sub>: saturated hydraulic conductivity; GL: GRAVEL; MWD: water-stable aggregates; K: soil erodibility factor of the USLE, GE: gully erosion, \*\*.Correlation significant at p<0.01, \*. Correlation significant at p<0.05.

شن، پایداری خاک‌دانه، ساختمان خاک، ماده آلی و آهک مهم‌ترین عوامل تعیین کننده فرسایش پذیری خاک در عرصه‌های کشاورزی دیم هستند. افزایش این ویژگی‌ها باعث کاهش فرسایش پذیری خاک می‌شود. در پژوهشی در حوزه آبخیز سنگانه‌ی کلات امیراحمدی [۱] درصد سیلت را به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های خاک مؤثر بر فرسایش آب‌کندی بیان کردند. تانگچان و همکاران [۳۷] درصد رس را به عنوان عامل مؤثر بر تشکیل آب‌کندها بیان کردند. یوسف‌وند و همکاران [۴۶] نیز تأثیر درصد شن و سنگ‌ریزه را در کاهش فرسایش آب‌کندی را گزارش کردند.

پایداری ساختمان خاک عاملی مهم در کاهش حساسیت خاک‌های منطقه به فرسایش آب‌کندی است. این ویژگی خاک به‌نوبه خود تحت تأثیر محتوای ماده آلی خاک قرار می‌گیرد. خاک‌هایی که از ماده آلی بیش‌تری برخوردارند، مقاومت بیش‌تری در برابر گسترش آب‌کندها دارند. کاهش در میانگین قطر خاک‌دانه‌ها، مقاومت خاک‌دانه را در برابر قطرات باران کم می‌کند. این ذرات در اثر برخورد قطرات باران به راحتی متلاشی شده و به صورت ذرات و خاک‌دانه‌های کوچک و قابل حمل در می‌آیند که بخشی از آن همراه با رواناب فرسایش یافته و برخی نیز با آب باران در خاک نفوذ می‌کند و منجر به تشکیل اندوده‌ی سطحی می‌شوند. تشکیل اندوده سطحی باعث کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب شده و از این جهت نیز فرسایش از سطح خاک را افزایش می‌دهد [۲۶]. رومرو دیاز و همکاران [۳۱] در مطالعه‌ای در اراضی کشاورزی رها شده

## بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش آب‌کندی در منطقه دیم مورد بررسی از ۲/۶۴ تن در یک کیلومتر مربع تا ۲۴۲/۷ تن در یک کیلومتر مربع متغیر است و تراکم آن ۱/۴۱ تا ۱۰/۷۸ کیلومتر در یک کیلومتر مربع تغییر می‌کند. بر این اساس تنها در معدود کشت‌زارهای منطقه، نشانه وقوع فرسایش هزاردره دیده می‌شود. بررسی آب‌کندها در دامنه‌های یکسان از شیب (۸ تا ۱۰ درصد)، امکان بررسی نقش ویژگی‌های خاک در گسترش آب‌کندها را فراهم می‌آورد. فرسایش آب‌کندی تحت تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قرار دارد. درصد شن، پایداری خاک‌دانه و رطوبت اشباع از ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش آب‌کندی در منطقه هستند. با افزایش درصد شن و رطوبت اشباع حساسیت خاک‌ها به فرسایش آب‌کندی افزایش می‌یابد. درصد شن خاک بخشی از ذرات خاک است که می‌توان یکی از مهم‌ترین نقش‌های آن را در افزایش نفوذپذیری خاک دانست. از طرف دیگر افزایش درصد شن در خاک همراه با کاهش فراوانی ذرات رس بوده و در نتیجه نقش منفی در خاک‌دانه‌سازی دارد کاهش خاک‌دانه‌های پایدار یکی از عوامل افزایش فرسایش خاک است. همچنین چسبندگی کم و جدا شدن آسان این ذرات در برابر انتقال به وسیله رواناب نیز از دلایلی است که حساسیت خاک به فرسایش آبی را افزایش می‌دهد [۹]. در پژوهش‌های انجام گرفته توسط سلیمانپور و همکاران [۳۴] در منطقه نیریز استان فارس هم‌بستگی مثبت شن و فرسایش آب‌کندی نیز نشان داده شده است. واعظی و همکاران [۴۱] نیز گزارش کردند که درصد

آبخیز سنگانه کلات بود.

این پژوهش نشان می‌دهد که امکان دست‌یابی به رابطه‌ای مطمئن برای برآورد فرسایش آبکندی با استفاده از ویژگی‌های خاک مورد مطالعه دشوار است چرا که به نظر می‌رسد سایر عوامل زمینی مانند انحنای سطح و مدیریت اراضی در ظهور آبکندها در منطقه مورد بررسی نقش داشته باشند.

### منابع

1. AmirAhmadi, A. 2017. Application of two nonparametric methods in determining the threshold of factors affecting the longitudinal growth of gullies using data mining techniques (Case study: Kalantan Sanganeh watershed). *Hydromorphology Journal*, 12: 152-113. (In Persian)
2. Arkhazlo, HSH. Emami, H. Hagh Nia, GhH. and Esmali A. 2017. Determination the most Important Physical and Mechanical Soil Properties on Increasing Cross Sections in Ardebil Province. *Journal of Water and Soil*, 30(6): 2060-2077. (In Persian)
3. Banaee, MH. 1998. Map of the regime of moisture and heat of Iranian soils to the scale of 1: 250,000 Institute of Soil and Water Research, Tehran. Iran. (In Persian)
4. Bouwer, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer, P 341-345. In: Klutem A., *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, Second edition, Agronomy, Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin
5. 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
6. Chaplot, V. 2013. Impact of terrain attributes, parent material and soil types on gully erosion, *Geomorphology*, 186: 1-11.
7. 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.
8. Dlapa, P. Chrenková, K. Mataix-Solera, J. and Šimkovic, I. 2012. Soil profile improvement as a by-product of gully stabilization measures. *Catena*, 92:155-161.
9. Esmaelnejad, L. Ramezpour H. and Seyedmohammadi J. 2016. Various erosional forms in marly lands with different physical properties and clay

جنوب شرقی اسپانیا گزارش کردند پایداری خاک‌دانه‌ها در مناطقی که دارای فرسایش تونلی بودند کم‌تر از ۲۰ درصد و در نواحی فاقد فرسایش تونلی بیش‌تر از ۷۰ درصد است. دلاپا و همکاران [۸] نیز در پژوهشی با هدف بهبود و تثبیت خصوصیات خاک مناطق دارای فرسایش آبکندی گزارش کردند پایداری خاک‌دانه‌ها با فرسایش آبکندی دارای ارتباط معنی‌دار و منفی است.

در خاک‌های با درصد رطوبت اشباع زیاد، گسترش آبکندها بیش‌تر بود. افزایش رطوبت اشباع خاک به مفهوم زهکشی نامناسب خاک است که به واسطه نوع بافت خاک، پوشش گیاهی و مواد آلی تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۳۵]. بالا بودن رطوبت خاک، حساسیت خاک را به دیگر عوامل فرساینده بیش‌تر می‌کند به عنوان مثال وجود سیلت بالا در خاک اگر با رطوبت در خاک همراه شود، فرساینده‌گی آن افزایش می‌یابد [۲۳]. با افزایش درصد رس خاک، درصد رطوبت اشباع افزایش و نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش رطوبت خاک باعث کاهش چسبندگی بین ذرات خاک و کاهش پایداری آن به ویژه در شیب‌های تند می‌شود [۹]. موسوی و همکاران [۲۴] پایداری خاک‌دانه، درصد مواد آلی، نفوذپذیری، مقدار کربنات کلسیم و توزیع اندازه ذرات را از عوامل تعیین‌کننده میزان فرساینده‌گی خاک گزارش کردند. واعظی و قره‌داغی [۳۹] نیز با بررسی گسترش فرسایش شیاری در خاک‌های مارنی در حوزه آبخیز زنجان رود نشان دادند که فرسایش شیاری در کنار درجه شیب تحت تأثیر ویژگی‌های خاک (توزیع اندازه ذرات، نسبت جذب سدیمی، پایداری خاکدانه و هدایت هیدرولیکی) قرار دارد.

فرسایش آبکندی ارتباطی با عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) برآورد شده با مدل USLE ندارد. این عامل که حساسیت خاک‌های کشاورزی را به فرسایش‌های شیاری، بین‌شیاری و ورقه‌ای نشان می‌دهد، شاخصی مناسب برای ارزیابی حساسیت خاک‌های منطقه به فرسایش آبکندی نیست. یکی از دلایل این موضوع، نبود ارتباط بین فرسایش آبکندی و درصد ذرات سیلت خاک است؛ در حالی که این ذرات عاملی مهم در افزایش فرسایش‌پذیری خاک (K) مطابق با مدل USLE هستند. ناکارآمدی این شاخص حتی در ارزیابی فرسایش‌پذیری خاک‌ها به فرسایش شیاری، بین‌شیاری و ورقه‌ای در منطقه مورد بررسی، پیش‌تر به اثبات رسیده است [۴۲]. به هر حال اگرچه در مطالعه حاضر، پایداری ساختمان خاک عاملی مهم در کاهش حساسیت خاک به فرسایش آبکندی است اما نقش ذراتی مانند سیلت در حساسیت خاک به فرسایش آبکندی در منطقه، بارز نیست. دلیل این موضوع را می‌توان به ماهیت بروز فرسایش آبکندی ارتباط داد. جریان متمرکز آب، عامل اصلی انتقال ذرات معدنی از سطح خاک است. چنین جریان‌های قدرت‌مندی، توانایی انتقال همه نوع ذرات خاک (ریز و درشت) را دارند. از این رو، وجود سیلت زیاد در خاک سطحی به عنوان عاملی در افزایش حساسیت خاک منطقه به فرسایش آبکندی نیست. این نتیجه برخلاف یافته‌های امیراحمدی [۱] در مورد تأثیر سیلت بر تشکیل آبکندها در حوزه

L.H. 2007. Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in southeast Spain, *Catena*, 71(1): 110-121.

21. May C, Gresswell, R. 2003. Processes and rates of sediment and wood accumulation in headwater streams of the Oregon coast range, USA. *Earth Surface Processes Landforms* 28: 409-424.

22. Maghsoudi, M. Shadfar, p. And Abbasi, M. 2011, zoning of land susceptibility to gully erosion in Zwaryan basin of Qom province, *Quantitative geomorphology research*, 2: 35-5

23. Mohamad ebrahimi, M. 2017. Identification of causes of the occurrence of Gully erosion with emphasis on soil-related factors (case study: Agh Imam watershed). *Journal of Soil and Water resources Conservation*. 7(2): 1-13. (In Persian)

24. Mousavi, SA. Mousavi, SA. Ranjbar Fordoei, A. and Sadatinejad SJ. 2018. Assessment of spatial distribution of soil erodibility in Khor and Biabanak Regions. *Iranian journal of eco hydrology*, 4(2): 561-571. (In Persian)

25. Oparaku L A, and Lawar R T. 2018. Ships 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.

26. Paevasteh, F. Asadi, H. and Akif, M. 2010. Relationship between Aggregate Stability and Surface Formation and Its Effect on Soil Erosion in Laboratory Conditions. *Iran – Watershed Management Science & Engineering*, 4(10): 1-9. (In Persian)

27. Poesen, J. and D. Torri. 1988. The effect of cup size on splash detachment and transport measurements; part 1: field measurement. *Catena*, 12: 113-126.

28. Poesen, J. Nachtergaele, J. Verstraeten, G. Valentin, C. 2003. Gully erosion and research needs. *Catena* 50, 91-133.

29. Refahi, GHH. 2017. *Soil erosion by water and conservation (7 th ED.)*. The Tehran University Press, 672 p. (In Persian)

30. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water-a guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS)

mineral variations in southern Guilan province. *Watershed Engineering and Management*, 7(6): 523- 535. (In Persian)

10. Farid giglou, B. and Ghazavi, R. 2018. The Role of Physicochemical Characteristics of Gully Soil and Environmental Factors of its Upper-Catchment Area in the Expansion of Gully Erosion. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 22(3): 273- 286. (In Persian)

11. Gao, P. 2013. Rill and Gully Development Processes. In *Treatise on Geomorpholog*, 7: 122-131. Elsevier Inc...

12. Garosi, Y. Sheklabadi, M. Pourghasemi, H R. Besaltpour, L. Conoscenti, C. and Oost, KV. Comparison of differences in resolution and sources of controlling factors for gully erosion susceptibility mapping. *Geoderma*, 330(5): 65-78.

13. Gee, G W. and Bauder, JW. 1986. Particle size analysis. In: Klute, (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1*, 2nd ed. America Society of Agronomy, Madison, WI: 383-411.

14. Ginwen, X. Chongfa, C. Yujie, W. and Xinliang, W. 2019. Granite residual soil properties in collapsing gullies of south China: spatial variations and effects on collapsing gully erosion. *Catena*, 174: 460-477.

15. Ismaili, R. and Shakti, R. 2015. Estimation of gully erosion sensitivity using logistic regression in Salouatabad watershed in Kurdistan province. *Journal of arid regions geographic studies*, 5(20):91-104. (In Persian)

16. Jones, JB. 2001. *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press, Boca Raton, FLr, 27-160.

17. Kemper, WD. and Rosenau, RC. 1986. Aggregate stability and size distribution models. *Geoderma*, 123: 363-371.

18. Khojeh, N. Ghoddosi, J. and Esmaili, R. 2012. Investigation of the Relation of Soil Physiochemical Characteristics and Initiation and Expansion of Gully Erosion in Temer Ghareh Khozi Watershed, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 3(5): 27-41. (In Persian)

19. Lean, EO. 1982. Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*. pp: 199-224. Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. In: A. L. Page (ed.), ASA and SSSA, Madison.

20. Lesschen, J.P., Kok, K., Verburg, P.H., and Cammeraa,



40. Vaezi, AR. and Gharedaghli, H. 2013. Quantification of Rill Erosion Development in Marl Soils of Zanjanroud watershed in north west of Zanjan, Iran. *Journal of water and soil*, 27(5): 872-881.(in Persian)
41. Vaezi, AR. Gharedaghli, H. and Marzavan, S. 2016. The role of slope steepness and soil properties in rill erosion in the hillslopes (A case study: Taham Chai catchment, NW Zanjan). *Journal of water and soil conservation*, 23(4): 83-92. (In Persian)
42. Vaezi, A R. Sadeghi, S H. Bahrami, H. and Mahdian, M. 2008a. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*, 97(3-4): 414-423.
43. Walkley, A. and Black, IA. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil science*, 37: 29-38.
44. Western, AW. Grayson, R B. Bloschl, G. Willgoose, G R. and Mcmahon, TA. 1999. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Journal of Water Resource Research*, 35(3): 797-810.
45. Wischmeier, WH. Smith, DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, vol. 537. US Department of Agriculture, Washington DC: 13-27.
46. Yousofvand, SH. Habibnejad, M. Soleimani, K. and Rezaie Pasha, M. 2013. Lithological and Geological Impacts on Gully Erosion (Case Study: Seif Abad Watershed, Lorestan). (*Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, water and soil science, 17(65), 139-151. (In Persian)
47. Zabihi, M. Mirchooli, F. Motevalli, A. Khaledi Darvishana, A V. Pourgh, H R. asemibMohamad Zakeria, M A. and Sadighia, F. 2018. Spatial modelling of gully erosion in Mazandaran Province, northern Iran. *Catena*, Volume 161: 1-13.
48. Zanjani jam, M. and Soufi, M. 2013. Investigation on morpho - climatic characteristics of gullies in order to classify gully affected regions in Zanjan province Iran. *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 99: 2-10. (In Persian)
- Handbook. United States.
31. Romero Díaz, APM. Sanleandro, AS. Soriano, FB. Serrato and Faulkner, H. 2007. The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena*, 69: 282-293.
32. Römken, MJM. Prasad, SN. and Poesen, JWA. 1986. Soil erodibility and properties, P 492-504. *Trans. 13th Congress of the International Society of Soil Sciences*, Hamburg, Germany.
33. Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th Edition, USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington DC
34. Solimanpour, SM. Soufi, M. and Ahmadi, H. 2010. A Study on the Topographic Threshold and Effective Factors on Sediment Production and Gully Development in Neyriz, Fars Province. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 63(1): 41-53.(In Persian)
35. Solomon Ehiz, O. and Omougbo, UN. 2013. Evaluating factors responsible for gully Development at the University of Bennin. *Journal of emerging trend in engineering and applied Science* 4:707-713.
36. Tajari, AR. And Kardel, F. 2014. Influence of gully erosion on soil moisture of abandoned farming dry land and rangeland in loess land (Case study: Kale-Shour watershed, Golestan Province). *Juornal of soil management and sustainable*, 5(2): 181- 195. (In Persian)
37. Tangchuan, L. Míngan, S. Yuhua, J. Xiaoxu, J. and Laiming, H. 2018. Profile distribution of soil moisture in the gully on the northern Loess Plateau, China. *Catena*, 171: 460-468.
38. Tichavský, R. Kluzová, O. Břežný, M. Ondráčková, L. Krpec, P. Radim Tolasz, R. and Karel Šilhán K. 2018. Increased gully activity induced by short-term human interventions Dendrogeomorphic research based on exposed tree roots. *Applied Geography*, 98: 66-77.
39. Vaezi, AR. Bahrami, HA. Sadeghi, SHR. and Mahdian MH. 2008b. Study of factors affecting erodibility based on the universal soil loss equation in calcareous soils. *journal of agricultural sciences and natural resources*, 14(5): 1-12. (In Persian)



## The Role of Physicochemical Soil Properties in the Gully Formation in Rainfed Wheat Lands, North West of Iran

A.R. Vaezi<sup>1</sup> and Y. Salehi<sup>2</sup>

Received: 13-04-2019 Accepted: 12-03-2020

### Abstract

This study aimed to investigate the effect of soil physicochemical properties on gully erosion in the Qarranqou Chai watershed located in the south of East Azerbaijan province. Toward this, a rainfed area with 30 km × 30 km in dimensions and affected by gully erosion was selected in the area and gully erosion, morphological characteristics of gullies along with physicochemical soil properties were determined in each grid. Results indicated that gully erosion is ranged from 2.64 to 242.7 ton per square kilometer, with an average of 21.38 ton per square kilometer. It is significantly correlated with sand ( $r= 0.28$ ), moisture saturation percentage ( $r= 0.27$ ) and aggregate stability ( $r= -0.29$ ). Aggregate stability in contrast with two other soil properties appeared negative role in gully formation. No significant correlation was found between gully erosion and silt and soil erodibility factor (K) estimated by the Universal Soil Loss Equation (USLE). This study revealed that aggregate stability is a major soil properties controlling gully erosion in rainfed lands. Maintaining crop residues is the first strategy to enhance soil organic matter content, improve aggregate stability and in consequence decrease the soil's susceptibility to gully erosion in the area.

**Keywords:** *Slope gradient, Soil structure, Silt percentage, Soil erodibility factor, Universal Soil Loss Equation*

1. Corresponding Author and Professor at Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.  
Email: vaezi.alireza@gmail.com

2. Ph.D. student at Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan