

Study of Morphometric Characteristics of Gullies and Factors Affecting Gully Development in Dryland Farming Area in South of East-Azərbayjan Province

ALI REZA VAEZI^{1*}, OULDOZ BKHSI RAD¹

1. Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

(Received: March. 18, 2019- Revised: Jan. 10, 2020- Accepted: March. 11, 2020)

ABSTRACT

Gully erosion is one of the most important types of water erosion, due to sediment production and severe soil degradation. There is a few information on development of gully erosion in agricultural rainfed areas. This study was carried out to investigate the relationship among gully morphometric characteristics and to find out the effect of land factors (gully length, slope, surface drainage area, land use and plough direction) on gully formation. Also, some conservation strategies for reducing soil losses were studied in a 900 km² agricultural area in south of Eastern Azarbijan province. For this purpose, 223 gullies were identified in the study area and some characteristics including length, width, depth, elevation difference between the two sides of gully, cross section area and volume, along with land factors consist of slope gradient of land and upland, slope length, surface drainage area, and management factors (land use and plough direction) were determined. Based on the results, gullies have developed in the areas with a drainage surface ranged from 1.5 to 45.1 ha and their length varies from 52 to 2088 m and the volume is between 150 and 35088 m³. Significant correlations are found between gully volume and length, width, depth, shape factor and cross section area. The length is the most important morphometric characteristics to explain gully volume in the lands. Gully development is directly affected by land's factors including the elevation difference between the two sides of gully ($r= 0.51$), surface drainage area ($r= 0.71$), and length ($r= 0.78$), while it inversely affected by land and upland slope. The gully length is the major factor controlling gully erosion in the area. So that in long slopes, the longitudinal development of the gully and consequently the volumetric expansion of the gully is more. In such areas it is necessary to carry out soil conservation practices.

Keywords: Drainage Area, Gully Length, Gully Volume, Land Use, Plough Direction.

* Corresponding author's Email: vaezi.alireza@gmail.com

بررسی ویژگی‌های مورفومتری آبکندها و عوامل مؤثر بر گسترش آن‌ها در کاربری زراعت دیم در جنوب استان آذربایجان شرقی

علی‌رضا واعظی^{۱*}، اولدوز بخشی‌راد^۱

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱)

چکیده

فرسایش آبکندی یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش آبی است که با توجه به تولید رسوب و تخریب شدید خاک، مطالعه آن اهمیت ویژه‌ای دارد. اطلاعات اندکی در مورد گسترش فرسایش آبکندی در مناطق تحت کشاورزی دیم وجود دارد. مطالعه حاضر به منظور بررسی روابط بین ویژگی‌های مورفومتری آبکند و تأثیر برخی عوامل زمینی (طول، شیب، مساحت زهکش، کاربری زمین و جهت شخم) بر گسترش فرسایش آبکندی به منظور بررسی راه کارهای حفاظتی در جهت کاهش هدررفت خاک در پهنه‌ای کشاورزی به وسعت ۹۰۰ کیلومتر مربع در جنوب استان آذربایجان شرقی انجام گرفت. در این راستا ۲۲۳ آبکند در منطقه شناسایی و ویژگی‌های مورفومتری شامل طول، عرض، عمق، اختلاف ارتفاع دو سر آبکند، مساحت مقطع و حجم در کنار عوامل زمینی شامل درجه شیب، درجه شیب زمین بالادست آبکند و طول زمین، سطح زهکش و عوامل مدیریتی (کاربری زمین و جهت شخم) تعیین شد. بر اساس نتایج، آبکندها در عرصه‌هایی با مساحت حوضه زهکش ۱/۵ تا ۴۵/۱ هکتار گسترش یافته، طول آن‌ها از ۵۲ متر تا ۲۰۸۸ متر و حجم آن‌ها از ۱۵۰ تا ۳۵۰۸۸ متر مکعب تغییر می‌کند. همبستگی معنی‌دار بین حجم آبکند و طول، عرض، عمق، شاخص شکل و سطح مقطع آبکند وجود دارد. طول آبکند مهم‌ترین مشخصه مورفومتری آبکند برای بیان گسترش آبکندها در منطقه است. گسترش فرسایش آبکندی تحت تأثیر مستقیم اختلاف ارتفاع دو سر آبکند ($r=0/51$)، مساحت عرصه زهکش ($r=0/71$) و طول دامنه ($r=0/78$) و تحت تأثیر عکس شیب دامنه و شیب زمین بالادست قرار دارد. نتایج نشان داد طول دامنه مهم‌ترین عامل مؤثر بر گسترش آبکندها در منطقه است. به طوری که در دامنه‌های طولانی، توسعه طولی آبکند و در نتیجه گسترش حجمی آبکند بیش‌تر است. چنین دامنه‌هایی اجرای عملیات حفاظت خاک ضروری است.

واژه‌های کلیدی: حجم آبکند، طول آبکند، کاربری زمین، جهت شخم، مساحت زهکش.

مقدمه

کشاورزی در فاصله بین دو کشت متوالی بدون بقایای گیاهی کافی است. رهاسازی زمین‌های دیم در سال‌های کم‌باران نیز عامل مهمی است که تأثیر آن بر تشدید رواناب و فرسایش در دامنه‌های کوهستانی مناطق نیمه‌خشک گزارش شده است (Cerda et al., 2018). فرسایش آبکندی در دامنه‌های شیب‌دار مرحله پیشرفته‌ای از فرسایش شیاری است. فرسایش آبکندی اغلب حداکثر تخریب خاک را نشان می‌دهد که موجب کاهش بهره‌وری کشاورزی، از بین رفتن خاک، کاهش کیفیت آب و پر شدن مخازن پایین دست می‌شود (Ayele, 2016) و سهمی بین ۱۰ تا ۹۴ درصد در تولید رسوب کل آبخیزها در کشورهای مختلف دارد (Poesen et al., 2003).

تشکیل آبکند تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد و برای تشکیل و گسترش آن باید این عوامل از یک حد آستانه فراتر روند (Poesen et al., 2003). ویژگی‌های آبکند مانند طول، عرض،

آبکند عبارت از آبراهه‌هایی با سطح مقطع بیش از ۱ فوت مربع (۹۲۵ سانتی‌مترمربع) است (Poesen and Hooke, 1997) که با عملیات کشاورزی از بین نمی‌روند (FAO, 1965). برخی پژوهشگران، آبکند را کانالی با عمق ۰/۵ تا ۳ متر معرفی می‌کنند (Soufi, 2004). فرسایش آبکندی یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش آبی در تخریب زمین به‌ویژه در مراتع ضعیف و کشت‌زارهای دیم است. در این مناطق به دلیل تغییر کاربری زمین و حذف پوشش گیاهی طبیعی، زمینه برای گسترش فرسایش آبراهه‌ای و در ادامه فرسایش آبکندی فراهم می‌شود. کشت‌زارهای دیم از جمله عرصه‌های حساس به فرسایش آبکندی هستند. از یک سو گیاه زراعی، پوشش کافی روی سطح خاک ایجاد نمی‌کند و عاملی در بازدارندگی جریان‌های سطحی نیست و از سوی دیگر، زمین

پژوهشگران از جمله (Zucca et al., Nachtergaele et al., 2001) و (Zhang et al., 2007) در مطالعاتی جداگانه به رابطه قوی بین حجم آبکند و طول آن دست یافتند. نتایج تحقیقات (Soufi and Esaei, 2010) در استان گلستان نشان داد که حجم آبکندهای این استان با متغیرهای طول، عمق و عرض فوقانی آبکند، دارای یک رابطه خطی معنی‌دار در سطح یک درصد است. بر اساس تحقیقات (Yibeltal et al., 2019) از میان ۱۰ فاکتور مورفومتری مورد مطالعه در ۹۴ آبکند، طول آبکند مهم‌ترین عامل مؤثر در گسترش فرسایش آبکندی است. تحقیقات (Soleimanpour et al., 2018) در استان فارس نشان داد که شدت فرسایش آبکندی رابطه‌ی مثبت معنی‌دار با مساحت اراضی لخت، طول جاده و اراضی دیم کم‌بازده دارد و رابطه منفی با مساحت مرتع دارد. (Tichavsky et al., 2018) با بررسی علل تشدید فرسایش آبکندی در منطقه‌ای در کشور چک به این نتیجه رسید عوامل انسانی عامل مؤثری در گسترش فرسایش آبکندی است و در میان این عوامل، فاکتور کاربری اراضی، عملیات عمرانی و جاده سازی اهمیت زیادی دارد. بر اساس مطالعات (Kompani-Zare et al., 2011) حجم آبکند و میانگین مقطع عرضی آن با عمق آبکند در بخش‌های مختلف و شیب رأس آبکند همبستگی معنی‌دار دارد. مطالعات (Aleksey et al., 2018) بر نقش مهم عامل شیب در ایجاد و گسترش فرسایش آبکندی در اراضی کشاورزی تاکید می‌نماید.

به‌طور کلی بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که برآورد فرسایش آبکندی و مطالعه عوامل مؤثر بر آن برای مهار فرسایش آبکندی و جلوگیری از تخریب زمین حائز اهمیت است. با این حال، وجود عوامل متعدد در تشکیل آبکندها و برهم‌کنش بین آن‌ها انجام چنین مطالعاتی را سخت و پیچیده می‌کند. این مسائل موجب شده است که در برخی موارد نتایج پژوهش‌ها در زمینه فرسایش آبکندی گاهی همسو با یکدیگر نباشند. گزارش‌ها نشان می‌دهد که گرچه در بسیاری از نقاط جهان، ممکن است عوامل مؤثر بر فرسایش آبکندی مشابه باشند، اما رشد و گسترش آن از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت است (Poesen et al., 2003). در ایران نیز فرسایش آبکندی عاملی مهم در هدررفت آب، تولید رسوب و تخریب اراضی است (Soleimanpour et al., 2015). اطلاعات اندکی در مورد ویژگی‌های مورفومتری آبکندها و عوامل مؤثر بر گسترش فرسایش آبکندی در مناطق تحت کشاورزی دیم وجود دارد. این اراضی بسیار حساس به فرسایش آبی هستند و سوء مدیریت در آن‌ها مانند شخم موزی شیب،

عمق، مساحت، حجم و عوامل محیطی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری زمین از جمله عوامل مؤثر در تشدید تخریب خاک و وقوع فرسایش آبکندی است. در این میان ویژگی‌های توپوگرافی، از عوامل مهمی است که بر تشکیل و گسترش آبکند اثر می‌گذارد. برای تعیین تأثیر توپوگرافی نیز آستانه توپوگرافی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Valentin et al., 2005). به‌منظور تعیین آستانه توپوگرافی در تشکیل و گسترش آبکندها، مساحت و شیب حوضه زهکشی آبکند مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این ترتیب حدی از مساحت و شیب بالادست پیشانی آبکند که در مقادیر بیشتر از آن فرسایش روی می‌دهد به‌عنوان آستانه توپوگرافی تعریف می‌شود (Poesen et al., 2003). نوع کاربری زمین و درصد پوشش گیاهی عامل مهم دیگری است که با تأثیر بر حجم و سرعت جریان‌های سطحی در تشکیل آبکندها نقش ایفا می‌کند.

مطالعات متعددی در مورد نقش پوشش گیاهی در جلوگیری از ایجاد آبکندها در اثر جریان متمرکز و ایجاد رسوب در مناطق مختلف انجام گرفته است. مقاومت به ایجاد آبکند در اثر جریان متمرکز به دلیل وجود پوشش گیاهی روی سطح خاک است که منجر به کاهش انرژی جریان از طریق افزایش مقاومت هیدرولیکی می‌شود (Nogueras et al., 2000; Rey, 2003). برای تعیین اولویت مناطق از دیدگاه مهار فرسایش آبکندی، تعیین شدت فرسایش آبکندی و عوامل مؤثر بر گسترش آبکندها ضروری است. آبکندها بر اساس ویژگی‌های مورفومتری مانند طول (L)، عرض (W)، عمق (D)، شاخص شکل یا عرض به عمق (W/D)، اختلاف ارتفاع (H)، مساحت مقطع (A)، حجم (V) قابل ارزیابی کمی هستند. طول آبکند یک پارامتر کلیدی در تعیین حجم فرسایش آبکندی برای EGEM¹ است (Nachtergaele et al., 2001a). تحقیقات نشان می‌دهند که همبستگی قوی بین حجم و طول آبکند وجود دارد (Cheng et al., 2007) که بیان‌گر نقش مهم طول آبکند در تخمین حجم فرسایش آبکندی به‌ویژه در آبکندهای با مقیاس بزرگ است. اندازه‌گیری طول آبکند از طریق شواهدی همچون عکس‌های هوایی و تصاویر سنجنش از دور به راحتی امکان‌پذیر است (Cheng et al., 2007; Hughes et al., 2001). بیشتر پژوهشگران در سراسر جهان برای دستیابی به روابط بین ابعاد آبکند، مطالعاتی را انجام داده‌اند. در این ارتباط نتایج بررسی‌های (Vandekerckhove et al., 2000) در جنوب شرقی اسپانیا نشان داد که حجم آبکند همبستگی مثبت با عامل شکل (W/D) و همبستگی منفی با نسبت (W/L) دارد. برخی

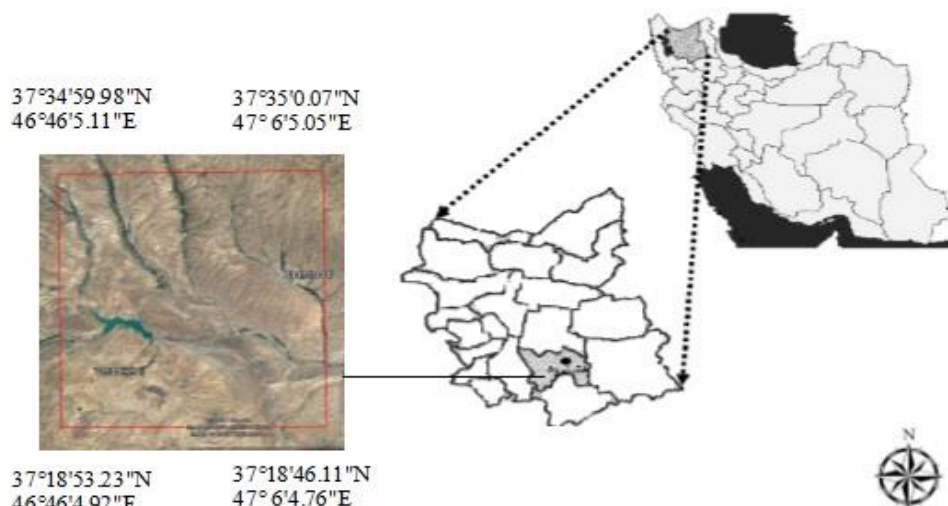
عرض شمالی و "۴' ۴۶' ۴۶° تا "۵' ۶' ۴۷° طول شرقی در جنوب استان آذربایجان شرقی انجام گرفت. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن دارای آب و هوای نیمه خشک سرد با میانگین بارندگی سالانه ۳۴۰ میلی‌متر است. شدت باران‌ها در منطقه اغلب پایین (به‌طور میانگین ۵/۰۷ میلی‌متر بر ساعت) است. از نظر زمین‌شناسی، خاک‌ها بر روی تشکیلات آهکی شکل گرفته‌اند و اغلب در شیب‌های ۵ تا ۱۵ درصد قرار گرفته است. از نظر ویژگی‌های نیم‌رخ، خاک منطقه عمیق تا بسیار عمیق با بافت لوم رسی و نفوذپذیری بر اساس طبقه‌بندی Tideman (1996) متوسط است (جدول ۲). خاک‌ها اغلب زیر کشت دیم گندم قرار دارند. ۳۶ شبکه مربعی هر کدام به ابعاد ۵×۵ کیلومتر مربع در سطح منطقه مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

اغلب منجر به تشدید تولید رواناب در اراضی بالادست و گسترش آبکندها در کشتزارها می‌شود. این پژوهش به‌منظور بررسی ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری آبکند و تعیین عوامل مؤثر بر گسترش فرسایش آبکندی در منطقه کشاورزی دیم شهرستان هشتگرد انجام گرفت تا ضمن شناخت دقیق ویژگی‌های مورفومتری و عوامل زمینی و مدیریتی بتوان راه‌کارهای مناسب برای کاهش گسترش فرسایش آبکندی در منطقه ارائه داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در منطقه‌ای کشاورزی به مساحت ۹۰۰ کیلومتر مربع در شهرستان هشتگرد واقع در "۴۶' ۱۸' ۳۷° تا "۰۷' ۳۵' ۳۷°



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و تصویر هوایی از آبکندها

تشکیل شده‌اند، متفاوت از دره‌هایی است که در شرایط کوه‌زایی به‌وجود آمده‌اند. آبکندهای منطقه غالباً به شکل خطی و گاهی پنجه‌ای هستند. وقوع فرسایش آبکندی در کنار هدررفت خاک حاصل‌خیز، موجب تفکیک عرصه‌های کشاورزی شده، امکان اجرای روش‌های مکانیزه کشاورزی را با مشکل مواجه می‌سازد (شکل ۲ ب).

فرسایش آبکندی در کنار فرسایش شیاری از اشکال مهم فرسایش آبراهه‌ای در کشتزارهای منطقه است. حذف پوشش‌های مرتعی و تغییر کاربری به زراعت دیم از یک سو و انجام عملیات کشاورزی نادرست مانند شخم موازی شیب در عرصه‌های تحت گسترش آبکندها به‌چشم می‌خورد (شکل ۲ الف). انتقال خاک در اثر جریان‌های آب طی سالیان متمادی منجر به تفکیک اراضی کشاورزی شده است. چنین آبراهه‌هایی که صرفاً در اثر جریان آب



شکل ۲- چشم‌اندازی از تشکیل آبکندها در اراضی کشاورزی دیم (الف) و تأثیر آبکندهایی بر تفکیک اراضی کشاورزی در تصویر هوایی (ب)

روش پژوهش

محدوده‌ای مربعی شکل با ابعاد 30×30 کیلومترمربع انتخاب شده و به ۳۶ شبکه با ابعاد 5×5 کیلومتر تقسیم شد. بررسی‌های میدانی نشانگر تراکم بالای آبکندها در دامنه‌های جنوبی بود. از این رو برای کاهش تأثیر جهت شیب بر رطوبت اولیه خاک، نفوذپذیری و فرسایش‌پذیری، تنها دامنه‌های رو به جنوب انتخاب شدند. در این دامنه‌ها به دلیل تبخیر زیاد، تأثیر رطوبت پیشین خاک بر تشکیل آبکند کمتر است. با بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، مناطقی که دارای آبکندهای مشخصی بودند، علامت زده شد و مختصات آن‌ها از روی نقشه‌های توپوگرافی ثبت شد. پس از بازدیدهای میدانی از مناطق اولیه تعیین شده به‌عنوان مناطق آبکندی و با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و نقشه‌های Google Earth موقعیت دقیق آبکندهای مشخص شده ثبت گردید. فرسایش آبکندی با بررسی عمق و مساحت مقطع با توجه به این‌که عمق کانال فرسایشی حداقل 0.5 متر و مساحت مقطع آن بزرگتر از 925 مترمربع باشد (Soufi, 2004; Poesen et al., 2003) تعیین گردید.

تعیین ویژگی‌های مورفومتری

در هر آبکند مورد مطالعه سه تا پنج نقطه تعیین و طول (R)، عرض (W) و عمق (D)، طول رأس و شیب رأس آبکندها اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها تعیین گردید. اختلاف ارتفاع نقطه ابتدا و انتهای آبکند (H) اندازه‌گیری شد و از عامل طول شیب (L) و درصد شیب (S) از طریق روابط زیر (۳ و ۴) محاسبه شد.

$$L^2 = R^2 - H^2 \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$S = (H / R) \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

همچنین طول رأس و شیب رأس آبکند نیز اندازه‌گیری شد. مساحت مقطع از طریق رابطه (۵) و حجم آبکندها که به‌عنوان معرفی از گسترش فرسایش آبکندی است، از طریق رابطه (۶) محاسبه شد:

$$A = \frac{1}{2} W \times H \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$V = A \times R \quad (\text{رابطه ۴})$$

نسبت عرض به عمق آبکند به‌عنوان معیاری از شکل آبکند (عامل شکل) بر اساس داده‌های عرض و عمق برای هر آبکند محاسبه شد. مساحت منطقه زهکش با پایش زمینی خط‌الرأس عرصه‌های زهکش به‌وسیله دستگاه مکان‌یاب جهانی (GPS) تعیین و صحت آن از طریق اندازه‌گیری روی نقشه تأیید شد. همچنین در مطالعات صحرایی، نوع کاربری زمین، مساحت مربوط به کاربری مرتع و کاربری تعیین شد. در کاربری زراعی، مساحت زمین تحت شخم موازی و تحت شخم روی خطوط تراز جداگانه تعیین شد. دقت مطالعات صحرایی با بررسی عکس‌های هوایی تأیید شد.

تعیین ویژگی‌های خاک

محدوده مربعی شکل با 36 شبکه مربعی به ابعاد 5×5 کیلومتر مربع در منطقه کشاورزی در شهرستان هشتروند انتخاب و تعداد ۳ الی ۵ نقطه از هر شبکه که آبکندهای مشخصی داشتند، برای نمونه‌برداری خاک انتخاب شدند. نمونه‌های خاک از اراضی سطح زهکش هر آبکند (دو طرف آبکند و منطقه بالای آبکند) از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر به دو روش دست‌خورده (برای آزمایش‌های تعیین توزیع اندازه ذرات و آزمایش‌های شیمیایی) و دست‌نخورده (برای تعیین چگالی ظاهری و ساختمان) برداشت و با هم مخلوط شدند. بدین ترتیب از حوضه زهکش هر آبکند، یک نمونه مرکب دست‌خورده و یک نمونه مرکب دست‌نخورده تهیه شد. تعداد نمونه‌های برداشت شده از هر آبکند، به تناسب تعداد آبکندهای موجود در آن شبکه بود. اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک شامل ذرات اولیه معدنی، ماده آلی، آهک، سنگریزه، شوری، واکنش خاک، چگالی ظاهری و نفوذپذیری با روش‌های متداول انجام گرفت. در این راستا توزیع اندازه ذرات (درصد شن، سیلت و رس) به روش

نتایج و بحث

ویژگی‌های مورفومتری آبکندها

بررسی نوع کاربری زمین در عرصه‌های زهکش نشان می‌دهد که کاربری مرتع حدود ۴۲ درصد سطح اراضی و کاربری زراعی حدود ۵۸ درصد سطح اراضی منطقه مطالعاتی (به مساحت ۹۰۰ کیلومتر مربع) را در برمی‌گیرد. در کاربری زراعی حدود ۶۷ درصد اراضی در جهت موازی شیب و بقیه (۳۳ درصد) روی خطوط تراز کشت می‌شوند. از مجموع ۲۲۳ آبکند مطالعه شده، تعداد ۹۳ آبکند در کاربری مرتع، تعداد ۸۷ آبکند در اراضی کشاورزی با شخم موازی شیب و تعداد ۴۳ آبکند در اراضی کشاورزی با شخم عمود بر شیب مشاهده شد. آبکندها در عرصه‌هایی با مساحت حوضه زهکش بین ۱/۵ تا ۴۵ هکتار پراکنده شده‌اند و شیب دامنه‌ها بین ۴ تا ۳۷ درجه تغییر می‌کند. در عرصه‌های کشاورزی که بیشترین سطح کاربری زمین را در منطقه شامل می‌شود (۵۸ درصد)، تعداد بیشتری آبکند (۸۶ درصد) تشکیل شده است.

نتایج بررسی ویژگی‌های مورفومتری آبکندها و ویژگی‌های زمین تحت گسترش آبکندها در جدول (۱) آمده است. در ۲۲۳ آبکند مطالعاتی، طول آبکندها از ۵۲ متر تا ۲۰۸۷ متر و حجم آن‌ها از ۱۵۰ تا ۳۵۰۸۸ متر مکعب تغییر می‌کند. میانگین اختلاف ارتفاع دو سر آبکندها ۴۳ متر است. آبکندها غالباً عریض (بین ۳ تا ۳۰ متر) اما کم‌عمق (بین ۱ تا ۶ متر) تغییر می‌کنند، به طوری که عامل شکل (نسبت عرض به عمق) در آبکندها بیش‌تر از ۱ و به‌طور میانگین حدود ۹ است. این وضعیت نشان‌گر گسترش عرضی آبکندها در منطقه است. این مسئله نشان می‌دهد فرسایش آبکندها تهدیدی جدی برای پروژه‌های کشاورزی محسوب می‌شود (Oparaku et al., 2015). بالا بودن این نسبت در اراضی زراعی و مرتعی موجب خسارت و از دست رفتن مقدار قابل توجهی از خاک سطحی می‌شود. نسبت‌های بالای عرض به عمق می‌تواند در تعیین اولویت‌های برنامه‌ریزی مهار فرسایش آبکندها مورد استفاده قرار گیرد. فرسایش آبکندها منطقه وسیعی را تحت تأثیر قرار داده است به طوری که حجم آبکندها از ۱۵۰ تا ۳۵۰۸۸ مترمکعب نوسان دارد که نشان‌دهنده گسترش آبکندها به دلیل عدم وجود عملیات حفاظتی است.

هیدرومتری (Gee et al., 1986)، درصد سنگ‌ریزه به روش وزنی (Klute, 1986)، واکنش (pH) خاک به وسیله pHسنج در گل اشباع (McLean, 1982)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع به وسیله ECسنج (Western, 1990: Rhoades, 1982)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک یک نرمال (Jones, 2001)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شدند. در نمونه‌های خاک دست-نخورده چگالی ظاهری خاک به روش سیلندر فلزی (Nelson and Kladviko, 1979) تعیین شد. نفوذپذیری خاک بر اساس سرعت نفوذ نهایی به روش استوانه مضاعف (Haise et al., 1956) اندازه-گیری شد. آزمایش‌های نفوذپذیری خاک در نقاط تحت نمونه-برداری خاک در سطح زهکش هر آبکند (دو طرف آبکند و منطقه بالای آبکند) انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای شناسایی آبکندها از عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای ۱:۲۵۰۰۰۰، تعیین موقعیت دقیق آبکندها از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و برای بررسی ویژگی‌های مورفومتری آبکندها از نرم‌افزار Google Earth نسخه 7.1.2.2041 استفاده شد. عکس‌های هوایی مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۶ از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شد و برای بررسی دقیق‌تر از سامانه گوگل ارث استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده مربوط به ماهواره سنتیل-۲ در مرداد ماه سال ۲۰۱۸ می‌باشد که دارای کم‌ترین پوشش ابری است. این ماهواره دارای سنجنده MSI^۱ می‌باشد و تصاویری را با قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر تهیه می‌کند. به‌منظور بررسی روابط بین ویژگی‌های آبکند و عوامل محیطی در فرسایش آبکندها از روش ماتریس همبستگی (پیرسون) استفاده شد. برای تعیین مهم‌ترین عامل مؤثر در گسترش آبکندها از روش رگرسیون گام به گام استفاده گردید. حجم فرسایش آبکندها به‌عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های مورفومتری و سایر عوامل مؤثر در گسترش آبکندها به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

جدول ۱- نتایج آماری ویژگی‌های مورفومتری آبکندها و ویژگی‌های زمین تحت گسترش آبکندها

ویژگی‌های مورفومتری آبکندها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
طول (متر)	۵۲	۲۰۸۷	۴۶۴	۳۴۸
اختلاف ارتفاع (متر)	۵	۱۴۵	۴۳	۲۹
عرض (متر)	۳	۳۰	۱۲	۴/۵۱

۰/۷۶	۱/۵	۶	۱	عمق (متر)
۴/۵۳	۹	۲۳/۳۹	۱/۲۴	عامل شکل
۵/۷۴	۱۰/۶۳	۳۷/۱۲	۳/۹۰	تندی شیب (درصد)
۳۵۵	۵۶۲	۲۱۴۸	۸۹	طول شیب (متر)
۶/۱۶	۹/۵۹	۴۵/۰۹	۱/۵۰	مساحت زهکش (هکتار)
۴۷	۹۸	۲۹۶	۲۲	فاصله از رأس آبکند (متر)
۵/۳۶	۹/۳۶	۳۲	۱/۸۲	درجه شیب رأس
۶۰۶۶	۵۰۳۲	۳۵۰۸۸	۱۵۰	حجم (مترمکعب)

ویژگی‌های خاک آبکندها

نتایج تجزیه ویژگی‌های خاک نشان داد که خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم رسی (۳۶/۷ درصد شن، ۳۱/۶ درصد سیلت و حدود ۳۲ درصد رس) با ماده آلی کم (۱/۱ درصد)، سنگریزه متوسط (۹/۹ درصد) و آهکی (۱۲/۷ درصد) است. نفوذپذیری خاک‌ها متوسط و میانگین در منطقه مورد مطالعه ۳/۵ سانتی‌متر در ساعت بود. واکنش خاک بین ۷ تا ۸ و درجه شوری آن حدود ۱ دسی‌زیمنس بر متر است. (جدول ۲). اگرچه در این پژوهش، نقش ویژگی‌های خاک در گسترش فرسایش آبکندی مورد بررسی قرار نگرفت، لیکن بر اساس پژوهش‌های پیشین می‌توان تصور کرد که ویژگی‌های خاک به‌نوبه خود عامل مهم دیگری در تغییرات فرسایش آبکندی در منطقه هستند. در گزارش‌های پیشین، نقش ویژگی‌های خاک در کنار شیب و پوشش گیاهی بر فرسایش آبکندی مورد تأیید قرار گرفته است. وجود بافت ریز و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، می‌تواند زمینه را برای کاهش چسبندگی ذرات و انتقال آن‌ها فراهم آورد (Soleimanpour et al., 2008).

جدول ۲- ویژگی‌های خاک عرصه‌های تحت فرسایش آبکندی

ویژگی‌های خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شن (%)	۲۵/۶	۴۸/۳	۳۶/۷	۶/۹
شن درشت (%)	۱۳/۳	۲۷/۷	۱۸/۹	۵/۲
شن خیلی ریز (%)	۸/۹	۲۴/۸	۱۷/۸	۳/۲
سیلت (%)	۲۰/۲	۴۶/۴	۳۱/۶	۷/۱
رس (%)	۲۰/۴	۴۲/۲	۳۲/۰	۵/۷
سنگریزه (%)	۶/۰۸	۱۷/۴۵	۹/۹	۲/۴
مواد آلی (%)	۰/۷۴	۲/۱۳	۱/۰۸	۰/۲۵
کربنات کلسیم معادل (%)	۱/۲	۱۸/۴	۱۲/۷	۵/۲
سرعت نفوذ نهایی (cm/h)	۱/۴	۵/۸	۳/۵	۱/۲

ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری آبکند

جدول شماره (۳) نتایج ماتریس همبستگی ویژگی‌های مورفومتری و عوامل مؤثر بر حجم آبکند به‌عنوان معرف گسترش

فرسایش آبکندی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مساحت زهکش با طول آبکند همبستگی مثبت معنی‌دار دارد ($p < 0/01$ و $r = 0/27$). با افزایش مساحت منطقه زهکش، گسترش طولی آبکندها بیش‌تر می‌شود، زیرا با افزایش مساحت، سطح مؤثر دریافت‌کننده بارندگی و رواناب بیش‌تر می‌شود و به تبع آن فضای بیش‌تری برای گسترش طولی آبکندها فراهم می‌شود که با نتایج پژوهش (Nazari-Samani, Soleimanpour et al., 2010) و (Poesen et al., 2003) مطابقت دارد. نتایج ماتریس همبستگی بین ویژگی‌های مورفومتری و گسترش آبکند نشان داد که حجم آبکند با طول آبکند رابطه مثبت معنی‌دار دارد ($p < 0/01$ و $r = 0/78$) به‌طوری‌که هرچه طول آبکند بیش‌تر باشد، گسترش آبکند بیش‌تر است که با نتایج مطالعات (Shahrivar et al., 1999) و (Zhang et al., 2007) و (Soufi & Esaei, 2010) نیز مطابقت دارد. طول آبکند از جمله پارامترهایی است که در برخی مدل‌های ریاضی نظیر مدل (EGEM) برای برآورد حجم فرسایش آبکندی به‌کار می‌رود. (Nachtergaele et al., 2001) به این نتیجه رسیدند که طول آبکند یک عامل کلیدی در تعیین حجم فرسایش آبکندی است.

نتایج ماتریس همبستگی نشان دهنده همبستگی مثبت معنی‌دار میان عرض آبکند و مساحت عرصه زهکش ($p < 0/01$ و $r = 0/50$) است. بر اساس تحقیقات (Oparaku et al., 2018) عرض آبکند با افزایش مساحت زهکش و در نتیجه افزایش رسوبات، بیش‌تر می‌شود. با افزایش مساحت حوضه زهکش، حجم جریان‌های جانبی که از طرفین به آبکند راه می‌یابند، افزایش می‌یابد. تخریب دیواره‌های آبکند در اثر ورود جریان‌های سطحی جانبی از طرفین منجر به گسترش عرضی آبکندها می‌شود. نتایج نشان داد حجم آبکند همبستگی مثبت معنی‌دار با عرض آبکند ($p < 0/01$ و $r = 0/22$) و عمق آبکند ($r = 0/51$ و $p < 0/01$) دارد. وجود ارتباط مستقیم معنی‌دار بین حجم آبکند و عرض آن با یافته‌های (Oparaku et al., 2018) مطابقت دارد. زمانی که یک آبکند در اثر جریان رواناب عمیق‌تر می‌شود، بی‌ثباتی دیواره‌های

و $r = -0.27$ دارد. حجم آبکند با نسبت عرض به عمق همبستگی منفی معنی‌دار دارد ($p < 0.05$ و $r = -0.13$). این نتیجه برخلاف یافته‌های Vandekerckhove *et al.* (2000) است. آن‌ها با بررسی عوامل مؤثر بر تشدید تشکیل آبکندها در منطقه جنوب‌شرقی اسپانیا نشان دادند که بین حجم آبکند و نسبت عرض به عمق آن همبستگی مثبت وجود دارد. دلیل این امر را می‌توان به تفاوت سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی و تفاوت اقلیم نسبت داد. حجم آبکند ($p < 0.01$ و $r = 0.70$) دارای همبستگی مثبت معنی‌دار با مساحت مقطع آبکند است.

آن به دلیل افزایش ارتفاع عمودی دو طرف آن، بیشتر شده و منجر به افزایش گسترش و تشدید فرسایش آبکندی می‌شود. در شرایطی که رواناب سطحی به عنوان عاملی مؤثر در فرسایش آبکندی باشد، عرض بالای آبکند توسعه می‌یابد. گزارش‌ها نشان می‌دهد که تحت این شرایط ورود رواناب از کرانه چپ و راست به درون آبکندها تأثیر به‌سزایی در توسعه آبکندها دارد (Takken *et al.*, 2008)

بر اساس نتایج ماتریس همبستگی، عامل شکل آبکند (نسبت عرض به عمق)، همبستگی منفی با شیب زمین ($p < 0.01$)

جدول ۳- همبستگی ویژگی‌های مورفومتری و عوامل زمینی مؤثر بر گسترش فرسایش آبکندی

پارامتر	طول آبکند	عرض آبکند	عمق آبکند	عامل شکل آبکند	مساحت آبکند	اختلاف ارتفاع شیب	درجه شیب	طول شیب	مساحت زهکش	فاصله از رأس آبکند	مساحت زهکش	مساحت از رأس آبکند	شیب رأس آبکند	سطح مرتع	سطح شخم موازی	سطح شخم عمودی	حجم آبکند
طول آبکند	۱																
عرض آبکند	۰/۰۳	۱															
عمق آبکند	۰/۲۶**	۰/۷۱	۱														
عامل شکل	-۰/۱۱	۰/۶۸**	-۰/۵۵**	۱													
مساحت آبکند	۰/۸۸**	۰/۰۵	۰/۲۳**	-۰/۰۹	۱												
اختلاف ارتفاع	۰/۷۰**	-۰/۱۱	۰/۳۳**	-۰/۳۰**	۰/۵۷**	۱											
درجه شیب	-۰/۳۲**	-۰/۱۹**	۰/۸۸	-۰/۲۷**	۰/۳۱**	۰/۳۲**	۱										
طول شیب	۰/۹۹***	۰/۰۴	۰/۲۷**	-۰/۱۱	۰/۸۸**	۰/۷۱**	-۰/۲۹**	۱									
مساحت زهکش	۰/۲۷**	۰/۵۰**	۰/۵۵**	-۰/۰۱	۰/۲۵**	۰/۱۸**	۰/۱۱	۰/۳۹**	۱								
فاصله از رأس آبکند	۰/۰۸	۰/۸۸	۰/۱۱	-۰/۰۵	-۰/۰۳	۰/۱۹**	۰/۲۱	۰/۱۴*	۰/۱۴*	۱							
شیب رأس آبکند	-۰/۱۱	-۰/۱۰	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۱۹**	-۰/۱۴*	-۰/۱۷**	-۰/۱۷**	۱						
سطح مرتع	-۰/۰۵	-۰/۱۰	۰/۰۹	-۰/۱۶*	-۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۸**	۱					
سطح شخم موازی	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۹	-۰/۰۷	۰/۱۵	-۰/۱۴*	-۰/۱۴*	-۰/۱۴*	-۰/۱۴*	۱				
سطح شخم عمودی	-۰/۰۹	۰/۱۵*	-۰/۱۵*	۰/۲۳**	-۰/۱۲	-۰/۱۵*	-۰/۱۱	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۱			
حجم آبکند	۰/۷۸**	۰/۲۲**	۰/۵۱**	-۰/۱۳*	۰/۷۰**	۰/۵۱**	-۰/۲۶**	۰/۷۸**	۰/۷۱**	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۰

** معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد و * معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد

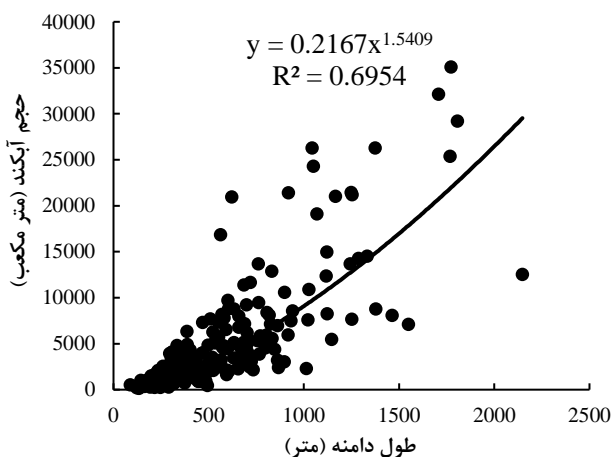
تأثیر عوامل زمینی و مدیریتی بر گسترش آبکندها

مساحت و شیب حوضه زهکش، شیب زمین، کاربری زمین و جهت شخم از عواملی هستند که ممکن است گسترش آبکندها در منطقه را تحت تأثیر قرار دهند. بر اساس نتایج ماتریس همبستگی (جدول ۳)، حجم آبکند همبستگی منفی معنی‌دار با درجه شیب زمین ($p < 0.01$ و $r = -0.26$) و درجه شیب رأس آبکند ($p < 0.05$ و $r = -0.13$) دارد. گزارش‌ها نشان می‌دهد درجه شیب دامنه عامل مهمی است که کم‌ترین مقدار آن برای تشکیل آبکندها به‌عنوان آستانه توپوگرافی تعریف شده است (Poesen *et al.*, 2003). نتایج متناقضی از تأثیر درجه شیب دامنه بر گسترش فرسایش آبکندی گزارش شده است. برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که هرچه شیب دامنه‌ها کم‌تر باشد، امکان افزایش عمق آبکندها در نتیجه انتقال رسوبات بیش‌تر می‌شود. با این وجود Martinez – Casosnovas *et al.* (2004) فرآیند ریزش دیواره آبکندها را در اسپانیا بررسی کردند و دریافتند که درجه شیب دیواره آبکند متغیر اصلی تعیین‌کننده ریزش دیواره آبکندها بوده

بر اساس نتایج، از میان ویژگی‌های مورفومتری، طول آبکند مؤثرترین عامل افزایش حجم آبکند و به‌عنوان معرف گسترش فرسایش آبکندی است ($p < 0.01$ و $r = 0.78$). ارتباط رگرسیونی بین حجم آبکند و طول آن با استفاده از سایر توابع ریاضی غیرخطی مانند لگاریتمی، نمایی و توانی بررسی شد. نتایج نشان داد که رابطه توانی با ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۷۲ و در سطح ۰/۰۱ قوی‌ترین ارتباط را با حجم آبکند دارد (شکل ۳). در این شکل، موارد استثنایی دیده می‌شود که با افزایش طول آبکند، حجم آبکند افزایش نمی‌یابد که دلیل آن، عدم گسترش عمقی چنین آبکندهایی است. در واقع آبکندهای عمیق گاهی طول کمتری دارند. چنین آبکندهایی به دلیل شیب زیاد عرصه زهکش و نیز به واسطه شرایط حساس خاک از جمله ناپایداری ساختمان و نفوذپذیری اندک، گسترش یافته‌اند. در پژوهشی Cheng *et al.* (2007) نیز همبستگی قوی بین حجم رسوب و طول آبکند به‌دست آوردند و بیان کردند که طول آبکند می‌تواند نقش مهمی در تخمین حجم آبکند داشته باشد.

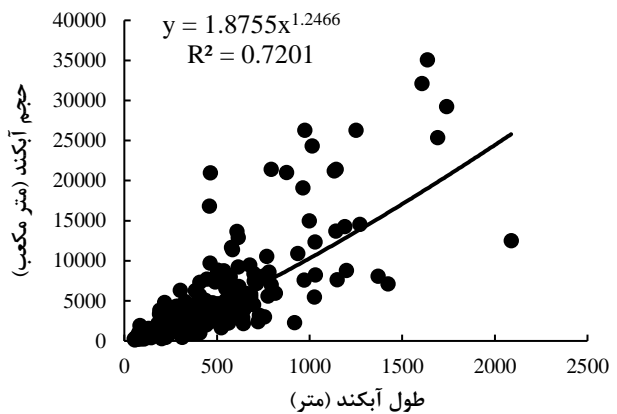
در تشکیل آبکندها است. همچنین تفاوت در مدیریت عرصه‌های مرتعی و تخریب شدید پوشش طبیعی مرتع در اثر چرای بی‌رویه دام عاملی دیگر در تشکیل آبکندها در این عرصه‌ها است. رفت‌و-آمد دام‌ها نقشی مهم در تخریب ساختمان خاک سطحی و کاهش نفوذپذیری خاک دارد. این عوامل در کنار عوامل طبیعی (شیب زیاد)، حساسیت عرصه‌های مرتعی را به فرآیندهای آبکنندزایی در منطقه بالا می‌برد. این نتیجه برخلاف مطالعات *Yasrebi et al.* (2013) است که نشان دادند در اراضی مرتعی دارای پوشش گیاهی ضعیف، خاک دارای مقاومت بیشتری است و احتمال گسترش آبکند کم‌تر است. در پژوهش‌های *Sadeghi et al.* (2010) نیز هیچ‌گونه ارتباطی بین فرسایش آبکندی و نوع کاربری زمین مشاهده نشد و در عین حال ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تشکیل آبکندها بیان شدند.

بر اساس نتایج ماتریس همبستگی، رابطه قوی بین حجم آبکند و طول دامنه در کشتزارهای منطقه وجود دارد. برای بررسی دقیق‌تر این ارتباط، از سایر توابع ریاضی غیرخطی استفاده شد. نتایج نشان داد حجم آبکند بر اساس رابطه توانی با طول دامنه مرتبط است ($R^2=0/69$). از میان متغیرهای زمینی مورد بررسی و عوامل مدیریتی (کاربری زمین و جهت شخم)، طول شیب زمین مؤثرترین عامل افزایش حجم آبکند در منطقه است (شکل ۴). در موارد استثنایی در دامنه‌های با طول زیاد، حجم آبکند کمتر است. در چنین دامنه‌هایی اگرچه آبکندهایی دراز تشکیل می‌شود اما عمق آن‌ها کمتر است. در این عرصه‌ها به دلیل وجود شیب کمتر و داشتن خاک نسبتاً مقاوم (با ساختمان پایدار و نفوذپذیر به آب)، برخلاف گسترش طولی آبکند، گسترش عمقی آن بسیار کمتر است.



شکل ۴- رابطه بین گسترش آبکند و طول دامنه در کشتزارهای دیم منطقه

است. به طوری که هرچه درجه شیب بیشتر باشد، ریزش دیواره آبکندها بیشتر تر و در نتیجه حجم آبکندها بیشتر می‌شود. یافته‌های *Feiznia et al.* (2007) نیز نشان می‌دهد در اراضی با شیب کم، شدت فرسایش آبکندی بسیار بیشتر از اراضی با شیب زیاد است. در پژوهش حاضر وجود رابطه عکس بین گسترش آبکند و درجه شیب دامنه نشان از حساسیت بالای شیب‌های ملایم به وقوع فرسایش آبکندی است. اراضی با شیب ملایم معمولاً از خاک عمیق‌تر با ذرات ریز (مانند رس) بیشتری برخوردارند. این شرایط زمینه را بر نگهداشت آب در خاک و وقوع فرسایش آبکندی فراهم می‌کند. گزارش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش شیب ضخامت سازندهای سطحی سست کم می‌شود و به دنبال آن افزایش تعداد و حجم آبکندها کاهش می‌یابد (*Farid & Ghazavi, 2018*).



شکل ۳- رابطه بین حجم آبکند و طول آن در کشتزارهای دیم منطقه

همبستگی مثبت معنی‌دار بین حجم آبکند و مساحت سطح زهکش وجود دارد ($p < 0/01$ و $r = 0/71$). در این راستا *et al.* Morgan (2003) نیز در مطالعات خود، مساحت را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در گسترش فرسایش آبکندی بیان کردند. در پژوهش حاضر همبستگی منفی معنی‌دار بین درجه شیب رأس و مساحت زهکش وجود دارد ($p < 0/01$ و $r = -0/17$) که با یافته‌های *Svoray & Markovitch* (2009) هم‌خوانی دارد. رابطه منفی بیان‌گر این واقعیت است که با افزایش مساحت حوضه زهکشی از شیب زمین کاسته می‌شود. همبستگی معنی‌دار بین حجم آبکند با مساحت کاربری مرتع یا کاربری زراعی دیم (شخم موازی و عمود بر شیب) مشاهده نشد که به نظر می‌رسد نوع کاربری زمین و حتی جهت شخم عاملی مهم در گسترش فرسایش آبکندی در کشتزارهای منطقه نیست. عرصه‌های مرتعی منطقه در شیب‌های تندتر که امکان تبدیل به زراعت دیم نیست، واقع شده‌اند و از این رو در این عرصه‌ها، درجه شیب عاملی مهم

نتیجه‌گیری

بررسی ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری آبکندها نشان داد که حجم آبکندها رابطه‌ای مستقیم با طول، عرض، عمق، سطح مقطع و رابطه‌ای منفی با عامل شکل (عرض به عمق) دارد. در میان ویژگی‌های مورفومتری، طول آبکند مهم‌ترین مشخصه برای بیان گسترش آبکندها در منطقه است؛ به طوری که با افزایش طول آبکند، حجم آبکندها به شدت افزایش پیدا می‌کند. بررسی تأثیر عوامل زمینی و مدیریتی بر گسترش فرسایش آبکندی نشان داد که حجم آبکندها تحت تأثیر مستقیم اختلاف ارتفاع دو سر دامنه، طول دامنه و مساحت عرصه زهکش است. با افزایش مساحت حوضه زهکش، حجم جریان‌های جانبی که از طرفین به آبکند راه می‌یابند، بیشتر شده و منجر به تخریب بیشتر دیواره‌های آبکند و در نتیجه گسترش عرضی آبکندها می‌شود. بین حجم آبکند و درجه شیب دامنه و درجه شیب زمین بالادست آبکند، همبستگی منفی مشاهده می‌شود. در عرصه‌های با مساحت بیشتر حوضه زهکش که معمولاً از طول بیشتر اما از درجه شیب کم‌تری برخوردارند، گسترش فرسایش آبکندی بیشتر است. چنین عرصه‌هایی غالباً تحت کشاورزی دیم قرار دارند اما عرصه‌های مرتعی معمولاً در شیب‌های تندتر واقع شده‌اند و از مساحت کمتری برخوردارند. وجود شیب زیاد مانع از تغییر کاربری آن‌ها

به زراعت دیم شده است. در چنین عرصه‌هایی، شیب دامنه نقشی مهم در تشکیل آبکندها دارد. در عرصه‌های کشاورزی با شیب ملایم که بیشترین سطح کاربری زمین را در منطقه شامل می‌شود (۵۸ درصد)، تعداد بیشتری آبکند وجود دارد (۸۶ درصد). در این عرصه‌ها به دلیل ماندگاری بیش‌تر آب روی زمین به ویژه در خاک-های ریزبافت، ساختمان خاک با جذب آب ناپایدار می‌شود و زمینه برای انتقال ذرات و وقوع فرسایش آبکندی فراهم می‌شود. بین گسترش فرسایش آبکندی با نوع کاربری زمین (مرتعی و زراعی)، ارتباط معنی‌دار دیده نمی‌شود. همچنین ارتباطی بین وقوع فرسایش آبکندی در کشتزارهای دیم و مساحت تحت شخم موازی شیب یا مساحت تحت شخم عمود بر شیب وجود ندارد. از بین عوامل زمینی مؤثر بر فرسایش آبکندی، طول دامنه مهم‌ترین عامل در منطقه است، به طوری که در دامنه‌های طولانی، توسعه طولی آبکند و در نتیجه گسترش حجمی آبکند بیش‌تر است. نتایج نشان داد چنین دامنه‌هایی بیش‌تر از سایر دامنه‌ها نیازمند اجرای عملیات حفاظت خاک هستند. کاربرد روش‌های خاک-ورزی حفاظتی مانند کم‌خاک‌ورزی، رعایت تناوب، آیش، حفظ و برگرداندن بقایای گیاهی به خاک می‌تواند در افزایش مقاومت خاک به نیروهای فرساینده و کاهش تولید رواناب و در نتیجه کاهش احتمال تشکیل آبکند در کشتزارهای دیم مؤثر باشد.

REFERENCES

- Aleksey Y. S., Sekaluvu, L. and Hutchinson, S.L (2018). Accuracy of topographic index models at identifying ephemeral gully trajectories on agricultural fields. *Geomorphology*, 306, 224-234.
- Ayele, G.K., Gessess, A.A., Addisie, M.B., Tilahun, S.A., Tebebu, T.Y. and Tenessa, D.B. (2016). A biophysical and economic assessment of a community-based rehabilitated gully in the Ethiopian highlands. *Land Degradation and Development*, 27(2), 270-280.
- Cheng, H., Zou, X., Wu, C., Zhang, C., Zheng, O., and Jiang, Z. (2007). Morphology parameters of ephemeral gullies in characteristic hillslopes on the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 94, 4 – 14.
- FAO, ISRIC, ISSS. (1965). World Reference Base for Soil Resources. FAO, ISRIC and ISSS, WSR Reports: Rome. 1965.
- 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*, 22(3), 273-285. (In Farsi)
- Feiznia, S., Heshmati, M., Ahmadi, H. and Ghodosi. J. (2007). Investigation of gully erosion in marly Agha-Jari formation in Zagross (case study: Ghasre-shirin, Kermanshah). *Pazhohesh and Sazandegi Journal*, 74, 32-40. (In Farsi)
- JGVVHHHCerdà, A., Rodrigo-Comino, J., Novara, A., Brevik, E. C., Vaezi, A. R., Pulido, M., Giménez-Morera, A. and Keesstra, S. D., (2018). Long-term impact of rainfed agricultural land abandonment on soil erosion in the Western Mediterranean basin. *Progress in Physical Geography*, 42(2), 202-219.
- Gee, G. W., Bauder, J. W. and Klute, A. (1986). Particle-size analysis Methods of soil analysis. Part 1. *Physical and Mineralogical Methods*, 383-411.
- Haise, H. R., Donnan, W. W., Phelan J, T., Lawhon, L. F. and Shockley, D. G. (1956). *The use of cylinder infiltrometers to determine the intake characteristics of irrigated soils*. Publ ARS41 USDA. Agricultural Research Service and Soil conservation Service. Washington D.C.
- Hughes, A.O., Prosser, I.P., Stevenson, J., Scott, A., Lu, H., Gallant, J. and Moran, C.J. (2001). Gully erosion mapping for the national land and water resources audit. CSIRO Land and Water, Canberra, Technical report 26/01, 19pp.
- Jones, E. P. (2001). Circulation in the Arctic Ocean. *Polar Research*, 20(2), 139-146.
- Klute, A. (1986). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods (No. Ed. 2). American Society of Agronomy, Inc.

- Kompani-Zare, M., Soufi, M. Hamzehzarghani, H. and Dehghani, M. (2011). The effect of some watershed, soil characteristics and morphometric factors on the relationship between the gully volume and length in Fars province, Iran. *Catena*, 86, 150-159.
- McLean, E.O. (1982). Soil and lime requirement methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. P: 199-204.
- Martinez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C. and Poesen, J. (2004) Assessment of sidewall erosion in large gully using multi-temporal DEMs and logistic regression analysis, *Journal of Geomorphology*, 58, 305-321.
- Morgan, R.P.C., Mngomezulu, D. (2003). Threshold conditions for initiation of valley side gullies in the Middle Veld of Swaziland, *Catena*, 50, 401- 414.
- Nogueras, P., Burjachs, F., Gallart, F., Puigdefabregas, J. (2000). Recent gully erosion in El Cautivo badlands (Tabernas, SE Spain). *Catena*, 40 (2), 203– 215.
- Nachtergaele, J., Poesen, J., Vandekerckhove, L., Oostwoud Wijdenes, D., Roxo, M. (2001)a. Testing the ephemeral gully erosion model (EGEM) for two Mediterranean environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 17– 30.
- Nachtergaele, J., Poesen, J., Steegen, A., Takken, I., Beuselinck, L., Vandekerckhove, L., Govers, G. (2001)b. The value of a physically based model versus an empirical approach in the prediction of ephemeral gully erosion for loess-derived soils. *Geomorphology*, 40, 237–252.
- Nazari Samani, A. Ahmadi, H. Mohammadi, A. Ghoddousi, J. Salajegheh, A. and Boggs, G. (2010). Factors controlling gully advancement and models evaluation for prediction of gully head advancement (case study: Hablehrood basin, Iran). *Water Resources Management*, 24: 1531-1549.
- Nelson, D.W. and E. J. Klavivko. 1979. Surface runoff from sludge- amended soils. *Journal Water Pollution Control Federation*, 51: 100-110.
- Oparaku, L.A., Enekola, S.O., and Akpen, G.D. (2015). Gullyerosion-inducedland degradation on the Idah-Ankpa Plateau of the Anambra Basin, Nigeria. *International Journal of Innovation Research in Science, Engineering and Technology*, 4(8), 2319–8753 (ISSN) (online).
- Oparaku, L. A. and TerungwaIwar, R. (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.
- Poesen, J. and Hooke, J.M.,(1997). Erosion, flooding and channel management in Mediterranean Environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography*, 21 (2), 157–199
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Vertstraeten, G., Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change. Importance and research needs. *Catena*, 50 (2–4), 91– 134.
- Rey, F. (2003). Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies. *Catena*, 50, 549–562.
- Rhoades, J. D.(1982). *Soluble salts. Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (methods of soil analysis part 2), pp. 167-179.
- Sadeghi, S.H.R., Noormohammadi, F and Soufi, M. (2010). Assessment of affective factors on gully erosion in a part of Ilam Province, Iran. *Journal of Watershed Management Research*, 2(3), 95-108. (In Farsi)
- Shahrivar, A., Feiznia, S. Ahmadi. H. and Ghodousi, J. (1999). Study on affecting factors on gully erosion in Sough area. *Pazhohesh and Sazandegi Journal*. 12(40): 18-24. (In Farsi)
- Soleimanpour, S. M., Soufi, M. and Ahmadi, H. (2008). Effect of different land uses on initiation of gully erosion in Fars province. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 2(3), 66-68. (In Farsi)
- Soleimanpour, S.M. Soufi, M. and Ahmadi, H. (2010). 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 Farsi)
- Soleimanpour, S.M., Hedayati, B., Soufi, M. and Ahmadi, H. (2015). Determination of threshold of effective factors on length expansion of gullies using data mining techniques in mahourmilati region, Fars province. . *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 9(29), 47-56. (In Farsi)
- Soufi, M. and Esaei, H. (2010). Estimation of the volume of gully erosion using morphometric and soil characteristics in the gullies of Golestan province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(2): 73-89. (In Farsi)
- Soufi, M. (2004). *A survey on the morpho-climatic characteristics of gullies in Fars province*. Final report of research rlay. Soil conservation and watershed management institute, Tehran, 130 p.(In Farsi)
- Svoray, S., Markovitch, H., (2009). Catchment scale analysis of the effect of topography, tillage direction and unpaved roads on ephemeral gully incision, *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 1970–1984.
- Takken, I., Croke, J., Lane, P. (2008). Thresholds for channel initiation at road drain outlets. *Catena*, 75: 257–267.
- Tichavsky, R., Klusova, O., Brezny, M., Ondrachova, L., Krpec, P., Tolasz, R. and Silhan, K. (2018). Increased gully activity induced by short-term human interventions –

- Dendrogeomorphic research based on exposed tree roots. *Applied Geography*. 98, 66-77.
- Tideman, E.M. (1996) Watershed Management, Guidelines for Indian Conditions. Omega Scientific Publishers, New Delhi, 372.
- Valentin, C., Poesen, J., and Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3), 132 – 153.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Nachtergaele, J., Kosmas, C., Roxo, M.J., De Figueiredo, T. (2000). Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1201–1220.
- Walkley, A. and Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Western, R. L. (1990). Soil testing and plant analysis: *Soil Science Society of America Journal*, Madison Wisconsin. USA.
- Yasrebi, B., Soufi, M., Mirnia, K., and Mohammadi, J. (2013). Effect of topography and soil on development of gully's in agriculture lands, case study: Illam province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5, 31-40. (In Farsi)
- Yibeltal, M., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., Tesegaye, D., Masunaga, T., Tsubo, M., Billi, P., Ebabu, K., Almaw, A. and Liyew, M. (2019). Morphological characteristics and topographic thresholds of gullies in different agro-ecological environments. *Geomorphology*. 341, 15-27.
- Zhang, Y., Wu, Y., Liu, B., Zheng, Q., Yin, J. (2007). Characteristics and factors controlling the development of ephemeral gullies in cultivated catchments of black soil region. Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 96, 28-41.
- Zucca, C., Canu, A. and 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.