



دوره ۳۱، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۱۹، تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۶-۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.121055.1095

پژوهش‌های آب‌نخرداری

(پژوهش و سازندگی)

نقش فرایندهای آب‌شناختی در ایجاد آب‌کند مبتنی بر روابط مساحت-شیب در مناطق خشک استان مرکزی

علی اکبر داودی‌راد*

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مجید صوفی

دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ ارسال: اسفند ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷

* Corresponding Email: Davudi_rad@yahoo.com

چکیده

فرسایش آب‌کندی، تهدیدی جدی در کمین جوامع بشری و محیط‌زیست است که با تمرکز جریان ایجاد می‌شود و متأثر از تغییرات پستی و بلندی، ویژگی‌های خاک و فعالیت‌های انسانی تشدید می‌یابد؛ از این رو در این پژوهش نوع فرایندهای آب‌شناختی مؤثر بر تشکیل آب‌کند در مناطق خشک استان مرکزی و در دو منطقه‌ی آب‌کندی رباط‌ترک و پیک‌زندیه بررسی و آستانه‌ی مساحت-شیب در این دو منطقه تعیین شد. پس از برداشت مشخصات ریخت‌سنجی آب‌کندها، رابطه‌ی توانی مساحت-شیب برای آب‌کندها برقرار شد. نتایج نشان داد که در منطقه‌ی رباط‌ترک رابطه‌ی مساحت-شیب همبستگی زیادی دارد و توان b آن نیز منفی است. جریان سطحی همراه با تشدید فرسایش ناشی از عمل انحلال، در ایجاد آب‌کند این منطقه نقش داشت. در منطقه‌ی پیک‌زندیه، همبستگی قوی در رابطه‌ی مساحت-شیب مشاهده نشد، ولی در تراز اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بود. در این منطقه نیز تأثیر جریان سطحی و پدیده‌ی انحلال در تشکیل آب‌کند مشهود بود؛ از این رو افزون بر اهمیت اقلیم، با همگن‌سازی آب‌کندها براساس نوع کاربری می‌توان به مدل‌های بهتری دست یافت. به این ترتیب مقادیر واقعی‌تر از آستانه‌ی پستی و بلندی حاصل خواهد شد که شرایط محیطی منطقه را بهتر منعکس خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: آستانه‌ی پستی و بلندی، استان مرکزی، فرایندهای ایجاد آب‌کند، هدررفت خاک

The Role of Hydrologic Processes in Formation of Gullies Based on the Area-Slope Relationship in Arid Regions of Markazi Province

Aliakbar Davudirad*

(Corresponding Author)* Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and natural resources research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)

Majid Soufi

Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and natural resources research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)

Abstract

Gully erosion is a serious threat to the society and environment of the study, primarily caused by surface runoff and dramatically accelerated due to rugged topography, soil properties and human induced factors. Therefore, the objective of this study was to investigate hydrologic processes affecting gully formation by topographic indexes in arid regions of the Markazi Province. Then threshold of the slope-area in the gully regions of Robattork and Pik-e Zarandie were determined. A logarithmic equation was developed using the morphometric characteristics of the gullies, the slope-area relationship at Robat-Tork was highly correlated and the b coefficient was negative. The investigations revealed surface flow with dissolution action was involved in this area. In the Pik-e Zarandie region, this correlation wasn't strong, but it was significant at the level %95 In this region, the effect of surface flow and dissolution phenomenon on the gully formation was also evident. In addition to the importance of the climate, gully categorizing based on land use can be achieved with better models. Therefore, it is necessary to determine the indices of topographic thresholds that best reflect the conditions of the local physical environment and land cover/use.

Keywords: Markazi Province, processes of gully initiation, soil loss, topographical thresholds

مقدمه

خطر فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه خشک، از موارد شایسته‌ی توجه در آمایش سرزمین است. فرسایش خاک در این مناطق از پی-آمدهای مهم تغییرات اقلیمی و به‌طور کلی از آثار بارز تغییرات محیطی و بوم‌شناسی است (ژو و همکاران ۲۰۰۸). انواع مختلف فرسایش آبی، از نظر میزان تخریب و خسارات حاصل یکسان نیست. یکی از مخرب‌ترین انواع فرسایش، فرسایش آبکندی است (صوفی و داودی‌راد ۲۰۰۸؛ عبدالفتای و همکاران ۲۰۱۴؛ آفیگ‌بوا و همکاران ۲۰۱۶) که باعث تغییرات اساسی در پستی‌وبلندی و تولید رسوب

می‌شود و اثرهای شایان توجهی در کاهش حاصل‌خیزی خاک و نقصان در عملکرد و وظایفی همچون تولید زیست‌توده و غذا، ذخیره‌سازی، صافی و انتقال آب در خاک، زیستگاه و ذخایر توارثی، منابع مواد خام و حتی در محیط‌زیست و مباحث فرهنگی انسان‌ها و نیز محدود کردن استفاده از زمین‌ها، تخریب جاده‌ها، حصارها و ساختمان‌ها دارد و آن را یکی از مشخص‌ترین انواع فرسایش در تلفات خاک می‌دانند (پوزن ۲۰۱۱؛ آدیس و همکاران ۲۰۱۵؛ زویگ و همکاران ۲۰۱۸). پوزن و همکاران (۲۰۰۳) معتقدند ۱۰ تا ۹۵٪ رسوب تولیدی در حوضه‌ی آبخیز ناشی از فرسایش آبکندی است؛ در صورتی که مجاری آب‌کند

سطحی تولیدی در بالای نقطه‌ی ایجاد یا بالادست پیشانی آبکند شده است. این رابطه نشان می‌دهد که با افزایش مساحت زه‌کشی بالای نقطه‌ی آبکند، شیب کمتری برای کنش ذرات خاک در ایجاد یا پیش‌روی آبکند لازم است. $SA^b > t$ رابطه‌ی دیگری است، برای تعیین آستانه‌ی پستی‌وبلندی فرسایش آبکندی و تشکیل آبکند که در آن t عدد آستانه‌ی پستی‌وبلندی است (یثربی و همکاران ۲۰۱۰؛ شهاب‌آرخازلو و همکاران ۲۰۱۶). نتایج تحقیقات پژوهشگران در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که رابطه‌ی توانی پیشنهادی برای آستانه‌ی پستی‌وبلندی، در بسیاری از مناطق آبکندی وجود دارد. در غالب مناطق بررسی‌شده، نمای رابطه‌ی توانی علامت منفی دارد که نشان از غالب بودن فرایند آب‌شناختی سطحی در ایجاد کنش دارد؛ مقدار عددی این نما برحسب تغییر کاربری و نوع خاک تغییر می‌کند (آقارزی و همکاران ۲۰۱۴).

در دهه‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای درباره‌ی عوامل مؤثر بر ایجاد و گسترش آبکند و نیز تعیین آستانه‌ی پستی‌وبلندی انجام شده است. صوفی (۲۰۰۴) معتقد است اولین قدم در شناخت فرایند ایجاد آبکند، شناخت ریخت‌شناسی آبکند است و در این رابطه، اقلیم نقش تعیین‌کننده‌ای دارد؛ از این‌رو وی آبکندهای استان فارس را در هفت طبقه‌ی اقلیمی و از نظر خصوصیات ریخت‌سنجی بررسی کرد. بیاتی خطیبی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل خطر فرسایش آبکندی و شاخص ظرفیت حمل، عوامل تشکیل و توسعه‌ی فرسایش آبکندی را بررسی و تحلیل کردند. نتایج این بررسی حاکی از آن است که در بخش‌های مختلف شورچای، شیب و نوع سازندهای سطحی دامنه‌ها نقش اولیه را در فراهم‌کردن زمینه‌ی لازم برای تشکیل آبکندها ایفا کرده‌اند. شادفر و همکاران (۲۰۱۲) با تهیه‌ی نقشه‌ی واحد کاری و بررسی ویژگی‌های سه آبکند معرف در کاربری‌های کشاورزی و مرتعی در منطقه‌ی رباط‌ترک استان مرکزی دریافتند که در واحد کاری مرتعی تعداد آبکند در واحد سطح و مقدار pH و EC بیشتر است؛ اما در واحد کاری زراعی مقدار TNV^۱ بیشتر است؛ همچنین میزان نفوذپذیری خاک در واحدهای کاری زراعی و مرتعی به ترتیب ۴/۲۵ و ۳/۳۴ سانتی‌متر بر ساعت است که دلالت بر سنگینی خاک منطقه‌ی دارد. آستانه‌ی پستی‌وبلندی در گسترش فرسایش آبکندی، در پژوهش صوفی و ابوالوردی (۲۰۰۸) در جنوب فارس بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که توان b در هر سه منطقه منفی است، که نشانه‌ی تأثیر و عملکرد فرایند رواناب سطحی در گسترش آبکندهای این مناطق است. نتایج بیانگر این واقعیت است که با افزایش شیب آبخیز، ضریب تبیین کاهش پیدا می‌کند؛ به عبارت دیگر توان b در مناطق کم‌شیب مقدار بیشتری را نشان می‌دهد و ضریب تبیین آن رابطه نیز بزرگ‌تر است؛ در حالی که در مناطق شیب‌دار ضریب تبیین کاهش پیدا

تنها حدود ۵٪ سطح حوضه را می‌پوشانند. به‌طور کلی آبکند نوعی فرسایش عمیق خطی است که رأس آن فعال است و دیواره‌های آن نیز ناپایداراند و گاهی نیز در آن جریان وجود دارد. معمولاً اکثر آبکندها از شیاری شروع می‌شوند که در صورت شخم‌نشدن، تبدیل به آبکند موقتی شده و به تدریج شکلی پایدار پیدا می‌کنند. در شرایط اقلیمی متفاوت و متأثر از انواع متفاوت کاربری زمین آبکندهای موقتی، دائمی و کنار رودخانه‌ی ایجاد می‌شود (پوزن و همکاران ۲۰۰۲).

مهم‌ترین مسئله در کاهش خسارات ناشی از فرسایش آبکندی، شناختن شرایط و عوامل مهم در بروز آن است. در این خصوص آکوت (۲۰۰۲) بیان می‌دارد که سرمایه‌گذاری‌هایی که به منظور جلوگیری از فرسایش آبکندی می‌شود، به مراتب کمتر از هزینه‌ها و سرمایه‌هایی است که به منظور مهار کردن فرسایش صورت می‌گیرد. با توجه به بحران آب و خشکی بوم‌نظام‌های کشاور و تخریب زمین‌های زراعی به‌وسیله‌ی آبکندها، لازم است تا با شناخت فرایندهای آب‌شناختی مؤثر بر ایجاد و گسترش آبکندها، راهکارهایی مؤثر در پیشگیری از ایجاد و پیشروی آن‌ها تعیین کرد. یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر گسترش آبکندها، ویژگی‌های خاک است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فرسایش تونلی زمینه‌ی ایجاد و گسترش آبکندها را فراهم می‌کند و کاهش ماده‌ی آلی نیز زمینه‌ی ناپایداری خاک را فراهم می‌آورد. در این راستا یکی از راه‌کارهای مدیریتی مهم برای مدیریت گسترش فرسایش آبکندی، تحلیل آستانه‌های اثرگذار بر فرسایش آبکندی است (آقارزی و همکاران ۲۰۱۴). این آستانه‌ها آستانه‌ی هیدرولیکی، بارندگی، پستی‌وبلندی، خاک‌شناسی و کاربری زمین معرفی شده‌اند (پوزن و همکاران ۲۰۰۳). در ساده‌ترین تعریف، آستانه، نقطه‌ای است که پس از آن، رفتار سامانه تغییر می‌کند (فیلیپس ۲۰۰۶). یکی از آستانه‌های بررسی‌شده در فرسایش آبکندی، آستانه‌ی پستی‌وبلندی است.

در بررسی‌های صورت‌گرفته برای تعیین آستانه‌ی پستی‌وبلندی بیان شده است که برای ایجاد و گسترش آبکند، حد آستانه‌ی^۱ به‌صورت رابطه‌ی توانی $(S=aA^b)$ برای سطح زه‌کشی یا گستره‌ی آبخیز بالای پیشانی آبکند (A) و شیب (S) بالای نقطه‌ی ایجاد (خروجی آبکند) یا پیشانی گسترش (هدکت) وجود دارد، و در رابطه‌ی آن، a و b ضریب‌های منطقه‌ای است (واندکرخوف و همکاران ۱۹۹۸؛ توری و پوزن ۲۰۱۴؛ سلیمان‌پور و همکاران ۲۰۰۹). نتایج پژوهش دسمت و همکاران (۱۹۹۹) نشان داد که در رابطه‌ی توانی، b تأثیر مهمی در پیش‌بینی تشکیل آبکند دارد و مقدار $0/۲$ که نقطه‌ی شروع آبکند و بهترین نتیجه برای تعیین روند پیشرفت آبکند است، زمانی حاصل می‌شود که توان بزرگ باشد، و حد بهینه‌ی آن بین $0/۷$ و $۱/۵$ است. در رابطه‌ی یادشده سطح زه‌کشی، جانشین حجم رواناب

1- threshold

2- total neutralizing value (T.N.V)

افزون بر پژوهش های اشاره شده که داخل کشور انجام شده اند، آرچیبولد^۵ و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعات خود خصوصیات ریخت سنجی آبکندها را از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ در کشور کانادا پایش کردند و به این نتیجه رسیدند که لبه ی بالایی پیشانی آبکندها تقریباً ۱ تا ۲/۷ متر در سال پیشروی داشته است. این پیشروی رابطه ی نزدیکی با وضعیت بارش فصلی دارد و در دو زمان ریزش رگبارهای سنگین تابستانه و یخ زدن و ذوب شدن جریان های زیرسطحی، هنگام ذوب برف اتفاق افتاده است. نتایج بررسی تأثیر رواناب بر فرسایش آبکندها در اندونزی که به وسیله ی ویلسون و همکاران (۲۰۰۸) انجام گرفت، نشان داد که در شرایط جریان لوله ای^۶ رواناب، میزان هدررفت خاک تقریباً بیست برابر هدررفت خاک ناشی از فرسایش سطحی است. در صورتی که جریان زیرسطحی نیز وجود داشته باشد، اقدامات حفاظت خاک مؤثر بر شرایط رواناب سطحی به تنهایی کافی نیست.

فرانکل و همکاران (۲۰۱۳) برای برآورد حجم فرسایش آبکندها، پژوهشی در هشت حوضه ی آبخیز در مناطق شمالی ایتوپی انجام دادند. ایشان ابتدا با تهیه ی یک رابطه ی نمایی، حجم آبکندها را بر مبنای طول آبکندها با ضریب تبیین ۰/۹۴ به دست آوردند و توان رابطه ی یادشده را با موارد مشابه در دنیا از جمله پژوهش صوفی و عیسایی (۲۰۱۲) در شمال ایران مقایسه کردند؛ سپس با توجه به سهولت تعیین سطح آبخیز آبکندها نسبت به طول آن ها، رابطه ی نمایی محاسبه ی حجم آبکندها برحسب مساحت آبکندها را نیز تهیه کردند. در نهایت درباره ی تعمیم روابط تجربی حاصل به مناطق دیگر، بر شباهت شرایط محیطی و اقلیمی تأکید کردند. توری و پوزن (۲۰۱۴) با بررسی ۳۹ نشریه از پژوهش های انجام شده در کل جهان، آستانه ی پستی و بلندی و رابطه ی مساحت- شیب در توسعه ی فرسایش آبکندها را ارزیابی کردند. در این بررسی با پایش پژوهش های مرتبط، ۶۹ مورد انتخاب و روابط مساحت- شیب و ضریب b و عدد یا معیار آستانه ی پستی و بلندی (t) تجزیه و تحلیل شد. بر مبنای نتایج، مقدار t کاملاً از تغییر کاربری متأثر است و نکته ی مهم تر اینکه با ثابت بودن مقدار b، t از راه ویژگی های خاک و پوشش گیاهی و براساس مقادیر شماره ی منحنی و سطح پوشش سنگی می توان برآورد کرد. در نهایت این بررسی نشان داد که در این رابطه می توان به مدل قابل اعتمادتری براساس کاربری زمین، تغییر اقلیم و مخاطرات طبیعی رسید.

آراجو و پیجون (۲۰۱۵) شاخص هایی را برای تعیین آستانه ی پستی و بلندی به منظور پیش بینی گسترش آبکندها در منطقه ای گرمسیری به مساحت هفت کیلومتر مربع در سانلوپالو برزیل انجام دادند. ایشان با ترسیم مقادیر A در مقابل S، کمینه ی شرایط برای شروع

کرده است که نشانه ی همبستگی کمتر این دو ویژگی است. سلیمان پور و همکاران (۲۰۰۹) آستانه ی پستی و بلندی و عوامل مؤثر بر رسوب زایی و گسترش آبکندها را در منطقه ی نی ریز استان فارس بررسی کردند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد رسوب تولیدی ناشی از گسترش آبکندها تابع سه متغیر گستره ی آبخیز، درصد لای و درصد شن در آبخیز واقع در بالای پیشانی آبکندها است. این نتایج بر غالب بودن رواناب سطحی به عنوان فرایند آب شناختی عمده در گسترش آبکندها دلالت دارد. بررسی آستانه ی پستی و بلندی نشان داد به علت منفی شدن توان b فرایند رواناب سطحی غالب است. در همین رابطه آقارضا و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که فرایند غالب در ایجاد و گسترش آبکندها منطقه ی ظهرآباد با شرایط اقلیمی مدیرانه ای معتدل در استان مرکزی، مربوط به تمرکز جریان و فرسایش خطی است که در دامنه های شیب دار به تشکیل و توسعه ی آبکندها منجر شده است.

توکلی و همکاران (۲۰۱۵) در منطقه ی چمزاب دره شهر ایلام، علاوه بر تعیین آستانه ی پستی و بلندی، مناطق مستعد ایجاد فرسایش آبکندها را براساس آستانه ی پستی و بلندی پیش بینی کردند و دریافتند توانایی مدل حاصل با سطح زیر منحنی مشخصه ی عملکرد^۳ برابر با ۰/۷۴۸، برای پیش بینی مناطق مستعد ایجاد آبکندها مناسب است. شهاب آرخازلو و همکاران (۲۰۱۶) از آستانه ی پستی و بلندی برای تعیین فرایندهای غالب آب شناختی در ایجاد آبکندها، در سه آبخیز ارتاداغ، ملا احمد و سرچم استان اردبیل، استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در حوزه ی سرچم، توان b آستانه ی پستی و بلندی، مثبت و فرایند تونلی شدن، عامل اصلی ایجاد آبکندها است؛ در حالی که در دو حوزه ی دیگر مقدار آن منفی است و رواناب، آبکندها را شکل داده است. شهبازی و همکاران (۲۰۱۶) نیز آستانه ی هیدرولیک جریان فرسایش آبکندها را در سه کاربری کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر در زمین های ماری منطقه ی قصرشیرین استان کرمانشاه بررسی کردند. بنابر نتایج این پژوهش، نوع کاربری زمین از طریق پوشش گیاهی، نقش تعیین کننده ای در آستانه ی هیدرولیک جریان دارد؛ از این رو کمینه ی آب دهی برای ایجاد بالاکندها در زمین های مرتعی متوسط، ۱۲ لیتر بر ثانیه است که از کاربری های دیگر بیشتر است. ذبیحی و همکاران (۲۰۱۸) نیز با مطالعه ی ۱۰۹ آبکندها در آبخیزی به مساحت ۱۵/۴۴ کیلومتر مربع در استان مازندران، عوامل مؤثر بر حساسیت منطقه به فرسایش آبکندها را بررسی کردند. ایشان با استفاده از شاخص بی نظمی^۴ دریافتند عوامل ارتفاع و کاربری زمین، بیشترین نقش را در افزایش حساسیت منطقه به ایجاد فرسایش آبکندها داشته اند.

3- receiver operating characteristics (ROC)

4 - index of entropy

5 - archibold

6- pipe flow

منطقه بررسی شد.

باتوجه به تحقیقاتی که در راستای اهمیت شرایط محیطی و تحلیل فرایندهای مؤثر بر شکل‌گیری و توسعه‌ی آبکندها صورت گرفته است، به نظر می‌رسد شناخت عوامل اثرگذار بر فرسایش آبکندی در حوضه‌های آبخیز کشور که با بحران این نوع از فرسایش روبه‌رو هستند، ضروری است. جمع‌بندی بیشتر تحقیقات یادشده به این نکته اشاره دارد که مجموعه‌ای از عوامل اقلیمی و اداپتیکی، همراه با تشدید فعالیت‌های انسانی در فرایند ایجاد آبکندها نقش داشته‌اند. این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه حساسیت زمین‌ها به فرسایش، شرایط حادث‌تری به‌خود می‌گیرد. در این رابطه تعیین آستانه‌ی عوامل اثرگذار در فرسایش آبکندی، در حوضه‌های آبخیزی که با بحران این نوع از فرسایش روبه‌رو هستند، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است. مجموع عوامل مؤثر بر این نوع فرسایش باعث شده است که ضریب a و b رابطه‌ی مساحت شیب مقادیر متفاوتی داشته باشند؛ با این حال شفاف‌سازی نوع فرایندهای تأثیرگذار بر فرسایش آبکندی نیازمند تحقیقات بیشتر است. بنابر بررسی صورت‌گرفته در استان مرکزی (داودی‌راد و همکاران ۲۰۰۸) در شهرستان‌های دلیجان و زرنده دو منطقه‌ی خاص فرسایش آبکندی شناسایی شده است که از یک‌سو از مناطق خشک استان به شمار می‌آید و از سوی دیگر، با توجه به تغییرات کاربری و افزایش سطح زمین‌های کشاورزی، ایجاد و گسترش فرسایش آبکندی کاملاً ملموس است. بر این موضوع در منطقه‌ی رباط‌ترک مبتنی بر پژوهش شادافر و همکاران (۲۰۱۲) که صرفاً به تشریح حساسیت منطقه براساس خصوصیات خاک و کاربری زمین پرداختند، تأکید شده است؛ از این‌رو با توجه به اهمیت این دو منطقه، از نظر فعالیت شایان توجه فرسایش آبکندی و حجم زیاد تولید رسوب و نیز عرصه‌های کشاورزی و در پی آن شناخت فرایندهای مؤثر براساس آستانه‌ی پستی‌وبلندی و نبودن پژوهش‌های مشابه، مبنای پژوهش حاضر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی مناطق بررسی‌شده

ابتدا با توجه به طرح پژوهشی طبقه‌بندی ریخت‌اقلیمی آبکندهای استان مرکزی (داودی‌راد و همکاران، ۲۰۰۸)، در طبقات اقلیمی خشک بیابانی فراسرد و خشک سرد، مناطق رباط‌ترک و پیک زرنده (زرنده) مدنظر قرار گرفت. منطقه‌ی آبکندی رباط‌ترک از نظر سیاسی در شهرستان دلیجان، از نظر جغرافیایی در منتهی‌الیه جنوب‌شرقی استان مرکزی در راستای آزادراه سلفچگان-اصفهان (شکل ۱) و از دید مطالعات آبخیزداری در زیرحوزه‌ی رودخان هشور (سد ۱۵ خرداد) واقع شده است که زهکش آن در نهایت به دریاچه‌ی نمک تخلیه می‌شود.

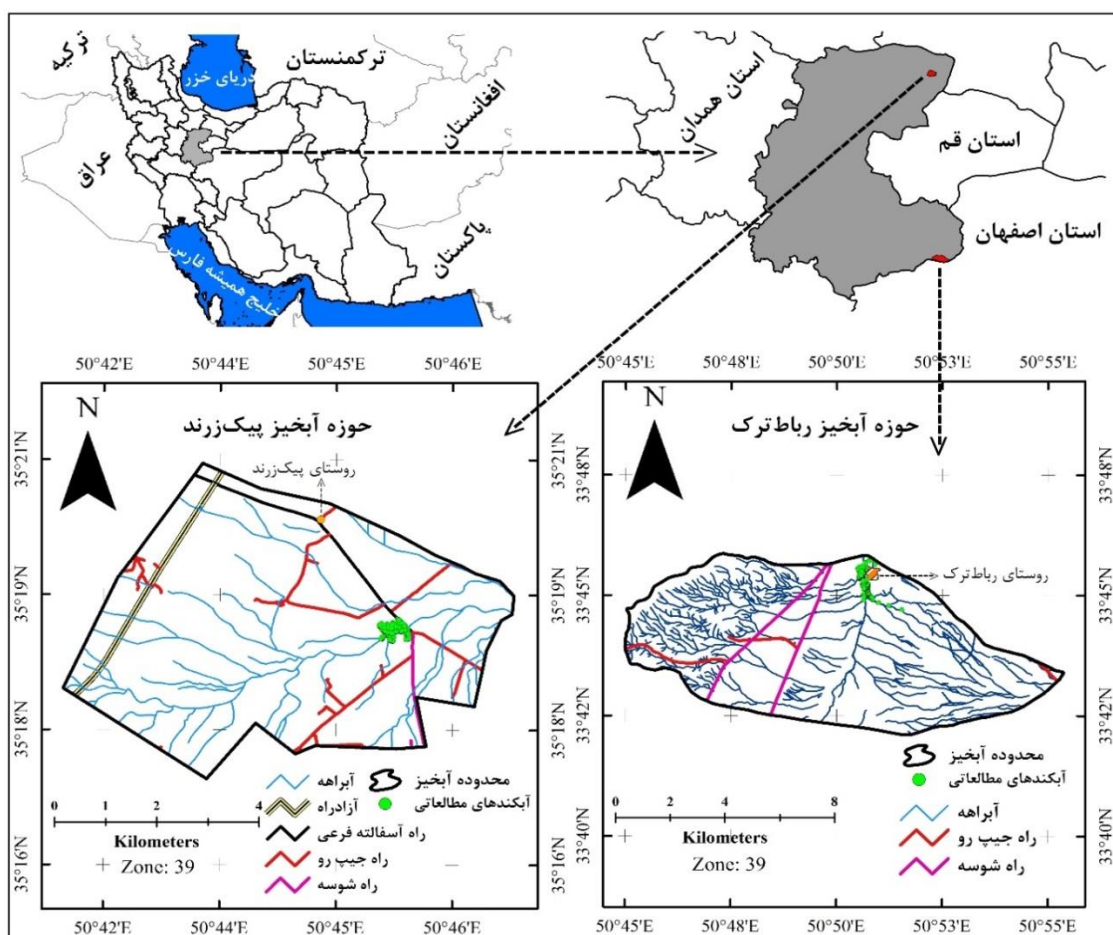
فرسایش آبکندی را مشخص کردند و روابط آستانه‌ی پستی‌وبلندی برای آبکندهای کم‌عمق (کمتر از یک متر) و عمیق (بیشتر از یک متر) را به‌دست آوردند. ایشان معتقدند روابط مساحت-شیب به‌دست‌آمده را صرفاً به مناطقی می‌توان تعمیم داد که تشابه اقلیمی، زمین‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی، کاربری زمین و پوشش گیاهی داشته باشند؛ از سوی دیگر ون‌مارک و همکاران (۲۰۱۶) با توجه به اهمیت پیشانی آبکند در گسترش آن، نتایج بیش از ۷۰ پژوهش انجام‌شده در دنیا در رابطه با پیشانی آبکند را بررسی کردند و با جمع‌آوری اطلاعات ۹۳۳ آبکند دریافتند که عوامل میزان رواناب سطح بالادست پیشانی آبکند و روز معمول بارانی^۲ که از تقسیم میانگین بارندگی سالانه به تعداد روزهای بارانی حاصل می‌شود، بیشترین همبستگی را با نرخ عقب‌نشینی پیشانی دارد. آن‌ها در این رابطه به یک مدل برآوردی دست یافتند که با ۷۶٪ داده‌های مشاهداتی تطابق داشت؛ ایشان مبتنی بر مدل حاصل، نقش شدت بارندگی در نرخ مورد نظر را تأیید کردند.

در همین رابطه برگونس و ریس (۲۰۱۶) با مطالعه‌ی ۹۰ آبکند کناری در دو زیرحوزه‌ی آبخیز رود تاگوس در جنوب پرتغال، تأثیر عوامل مختلف ریخت‌سنجی (مساحت، محیط، درجه‌ی سینی‌سوزی شدن) و موقعیت آبکندهای مناطق بررسی‌شده را از راه رگرسیون خطی چندگانه و لجستیک بررسی کردند. براساس این پژوهش، مشاهدات منطقه‌ای با نتایج حاصل از کاربرد رگرسیون خطی چندگانه تطابق بیشتری داشت؛ بدین ترتیب که شروع آبکند متأثر از رواناب آبخیز بالادست آن و سینی‌سوزی شدن نیز متأثر از چندشاخه‌شدن پیشانی آبکند است.

علاوه بر پژوهش‌های اشاره‌شده درباره‌ی عوامل و فرایندهای ایجاد فرسایش آبکندی که کاملاً متأثر از شرایط اقلیمی و محیطی بوده و در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر آن ملموس‌تر است، زویگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز بر اهمیت شرایط محیطی بر ایجاد و گسترش فرسایش آبکندی تأکید داشته و معتقدند میزان رشد پیشانی آبکند در زمین‌های بیابانی جنوب فلسطین اشغالی، حدود چند دسی‌متر تا چندین متر در سال است. ایشان معتقدند دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر از عرصه‌ی آبکندی و ویژگی‌های آبکندهای آن، نقش مهمی در درک فرایندهای ایجاد فرسایش آبکندی، به‌ویژه در مناطق خشک که خطر جدی برای زمین‌های کشاورزی محسوب می‌شوند، دارد. برای این منظور در منطقه‌ی بیابانی نقو، به مساحت تقریبی ۳۵۰۰ کیلومتر مربع اطلاعات درازمدت، شامل میزان رشد پیشانی آبکند در دوره‌ی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ به‌صورت سالانه و پس از هر جریان سیلابی و نیز شرایط فعلی آبکندها از طریق نقشه‌برداری دقیق به دست آمد و در نهایت، چگونگی ایجاد و توسعه‌ی آبکندها در بخش‌های مختلف

آبکندی در هر منطقه با کمک تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارت، تعیین و از طریق بررسی صحرایی و با کمک دستگاه موقعیت‌یاب جهانی، مشخص و نهایی شد (شکل ۱). جدول ۱ مشخصات این دو منطقه و شکل‌های ۲ و ۳ نیز نمونه‌ای از آبکندهای مناطق مطالعاتی را نشان می‌دهد.

منطقه‌ی آبکندی روستای پیک از توابع بخش مرکزی شهرستان زرننده نیز در حوزه‌ی آبخیز سه‌رود (دشت زرنند) واقع است (شکل ۱). آبکندهای پیک زرننده همانند منطقه‌ی رباط‌ترک، در حاشیه‌ی رود (رود شور) تشکیل شده‌اند. لازم به ذکر است رودخانه‌ی شور یکی از آبریزهای اصلی کویر مرکزی است که به دریاچه‌ی نمک منتهی می‌شود. پس از مشخص شدن مناطق مطالعاتی، مرز محدوده‌ی



شکل ۱- مناطق مطالعاتی و موقعیت آن‌ها در استان مرکزی.

جدول ۱- ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز مناطق مطالعاتی.

مشخصه	حوزه‌ی آبخیز رباط‌ترک	منطقه‌ی پیک زرننده
مساحت منطقه‌ی مطالعاتی (کیلومترمربع)	۷۲/۵۴	۳۴/۸۲
محیط (کیلومتر)	۳۷/۸۰	۲۵/۲۴
ارتفاع متوسط (متر)	۱۹۵۹	۱۱۴۶
شیب متوسط سطح (/.)	۱۲/۳۷	۱/۱



شکل ۲- نمونه‌ای از آب‌کنده‌های منطقه‌ی مطالعاتی رباط‌ترک.



شکل ۳- نمونه‌ای از آب‌کنده‌های منطقه‌ی مطالعاتی پیک زرن‌دیه.

۲۱۳/۷ و ۲۳۵ میلی‌متر است (داودی‌راد و همکاران ۲۰۰۸؛ شادفر و همکاران ۲۰۱۲).

با توجه به مطالعات صورت گرفته، آبکندهای حوزه‌ی آبخیز رباط‌ترک در واحد زمین‌های دشت سیلابی با پستی‌وبلندی و آبراهه‌های متعدد و فرسایش‌یافته در ورودی روستا دیده می‌شوند (داودی‌راد و همکاران ۲۰۰۸؛ شادفر و همکاران ۲۰۱۲). محدوده‌ی آبکندی رباط‌ترک، خاکی عمیق و رسوبی همراه با سنگریزه دارد که بافت خاک بیشتر نیمه‌سنگین، با بافت متوسط رسی است. زمین‌های آبی سمت راست رودخانه و مرتع در سمت چپ پای دامنه و ارتفاعات، کاربری دارند. زمین‌های آبی به کشت گندم و بعضاً گل محمدی اختصاص دارد و عملیات خاک ورزی در آن به‌صورت تناوبی و با ادوات معمول کشاورزی انجام می‌گیرد؛ همچنین جهت شخم زراعی از جهت شیب عمومی منطقه پیروی می‌کند. نوع گیاهی غالب در مراتع درمنه، گون و چوبکاست. در مطالعات صحرایی میانگین درصد تاج پوشش ۳۲/۶٪، خاک لخت ۲۷/۷٪، سنگ و سنگریزه ۳۶/۸٪ و خاروخاشاک ۲/۹٪ برآورد شد که تحت تأثیر چرای مفرط دام‌های منطقه قرار گرفته است.

در منطقه‌ی پیک زرنديه، همانند منطقه‌ی رباط‌ترک، آبکندها در حاشیه‌ی رودخانه‌ی اصلی شکل گرفته‌اند. این محدوده شامل زمین‌هایی با شیب ۰/۵٪ است که مقداری فرورفتگی و برآمدگی در سطح دارد (داودی‌راد و همکاران ۲۰۰۸). خاک منطقه‌ی پیک زرنديه در عمق، شور و قلیایی و در سطح، شور است. سطح آب زیرزمینی نیز بالااست. نفوذپذیری خاک این محدوده در حد متوسط از ۲/۷ تا ۳/۸ سانتی‌متر بر ساعت متغیر است (جدول ۵). این زمین‌ها در شیب کمتر از ۵٪، کاربری بایر دارد و در دهه‌ی اخیر باغ‌های پسته در این منطقه توسعه یافته است. در باغ‌های پسته، عملیات خاک‌ورزی با ادوات معمول کشاورزی و تا حد ممکن به‌صورت منظم انجام می‌گیرد؛ اما محدودیت‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، به زهکشی نامطلوب این زمین‌ها منجر شده است. مهم‌ترین محدودیت‌ها در این محدوده، بافت خاک، شوری، قلیائیت و نبود زهکشی است. زمین‌ها به‌طور عمده خاک‌هایی عمیق و گاهی نیمه‌عمیق تا کم‌عمق، از رده‌ی گزروسسل و گزروسسل آهکی و آرتیک دارد (جدول ۵). در مطالعات صحرایی میانگین درصد تاج پوشش ۳۱/۱٪، خاک لخت ۳۳/۲٪، سنگ و سنگریزه ۳۲/۲٪ و خاروخاشاک ۲/۵٪ برآورد شد که تحت تأثیر چرای مفرط دام‌های منطقه قرار گرفته است.

انتخاب آبکندها و اندازه‌گیری مساحت و شیب بالادست آن‌ها
پس از مشخص شدن مناطق مطالعاتی، با توجه به نامشخص بودن شمار آبکندها در دو منطقه، به‌طور تجربی در منطقه‌ی رباط‌ترک ۱۶ و در منطقه‌ی پیک زرنديه ۱۷ آبکند در نظر گرفته شد؛ در ادامه، با استفاده از جی‌پی‌اس، مساحت بالادست هر آبکند اندازه‌گیری شد؛ به‌وسیله‌ی شیب‌سنج و زاویه‌سنج LaiSai مدل LS۱۶۵، شیب آبخیز هر آبکند هم از نقطه‌ی ایجاد و هم از نقطه‌ی گسترش محاسبه شد؛ البته این کار از طریق مدل رقومی ارتفاع حاصل از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ برای تعدیل خطاها انجام شد.

تعیین مشخصه‌های ریخت‌سنجی، خاک و پوشش گیاهی
هم‌زمان با تعیین مساحت و شیب آبخیز هر آبکند، ویژگی‌های هندسی و ریخت‌سنجی هریک از آبکندها از قبیل طول و عمق متوسط و شیب بستر اندازه‌گیری شد؛ با نمونه‌برداری خاک از پیشانی آبکند، مشخصه‌های بافت، EC، pH، و مواد آلی نمونه‌ها در آزمایشگاه خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی اندازه‌گیری شد. نفوذپذیری خاک منطقه نیز از طریق حلقه‌ی مضاعف اندازه‌گیری شد. وضعیت پوشش گیاهی و کاربری زمین هم در بررسی صحرایی مشخص شد.

تعیین رابطه مساحت - شیب آبکندها

پس از تعیین مساحت و شیب آبخیز هر آبکند، محاسبات تعیین رابطه‌ی آستانه‌ی پستی‌وبلندی فرسایش آبکندی، در دو حالت مساحت از نقطه‌ی ایجاد و نقطه‌ی گسترش صورت گرفت و ضرایب a و b و عدد آستانه‌ی توپوگرافی محاسبه شد. لازم به ذکر است این رابطه از نوع توانی و مقیاس محورهای افقی و عمودی لگاریتمی است. اگر نمای رابطه‌ی توانی منفی باشد، معرف تأثیر رواناب سطحی در ایجاد یا گسترش آبکند است؛ ولی اگر این رابطه مثبت باشد، فرایند از نوع زیرسطحی است. در نهایت، رابطه‌ی مساحت و شیب آبخیز با طول آبکند برقرار شد تا درباره‌ی نحوه و میزان اثر عامل پستی‌وبلندی در ایجاد و گسترش آبکند شفاف‌تر بحث و بررسی شود.

نتایج

مشخصات ریخت‌سنجی آبکندهای منتخب دو منطقه‌ی مطالعاتی، در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است. جدول‌های ۴ و ۵ نیز مشخصات کاربری زمین‌های آبخیز بالادست آبکند، وضعیت پوشش گیاهی و خاک آبکندهای دو منطقه‌ی رباط‌ترک و پیک زرنديه را نشان می‌دهند. میزان بارش سالانه در منطقه‌ی رباط‌ترک و پیک زرنديه به ترتیب

جدول ۲- مشخصات ریخت‌سنجی آبکندهای مطالعاتی منطقه‌ی رباط‌ترک.

کد	طول آبکند (متر)	عمق متوسط (متر)	شیب بستر (%)	مساحت آبخیز از نقطه‌ی خروجی (مترمربع)	مساحت آبخیز از نقطه‌ی پیشانی آبکند (مترمربع)	مساحت آبکند (مترمربع)	شیب آبخیز آبکند (%)
۴۰۶	۷/۳	۰/۵	۱۳	۹۶	۴۰	۹	۱۵
۴۰۸	۹/۵	۱	۲۱	۱۲۸	۲۳	۱۳	۱۵
۴۱۰	۳۵/۵	۲/۵	۱۴	۷۷۶	۳۵۲	۱۷۹	۱۰
۴۱۲	۸۲/۷	۳	۷	۲۳۵۴	۱۱۳۶	۱۰۰۹	۶
۴۱۴	۹/۰	۳	۶۰	۴۴۰	۲۵۷	۳۰	۱۶
۴۱۶	۵/۲	۱	۳۸	۸۳	۲۳	۵	۲۵
۴۱۸	۲۲/۳	۴	۳۶	۶۰۳	۱۵۷	۵۸	۲۱
۴۲۰	۳۷/۹	۴	۱۸	۱۲۳۹	۴۹۷	۱۸۵	۱۰
۴۲۲	۳۲/۰	۵	۲۵	۳۶۰۰۱	۳۳۰۹۴	۱۴۶	۷
۴۲۴	۱۷/۰	۲	۲۳	۱۴۵۰	۱۲۴۹	۸۷	۱۲
۴۲۶	۱۲/۰	۱	۱۶	۲۳۴۵	۲۱۴۰	۳۳	۱۰
۴۲۸	۲۸/۰	۴	۲۸	۲۷۰۶	۱۸۵۹	۱۲۱	۷
۴۳۰	۱۳/۰	۲/۵	۳۸	۸۸۱۲	۸۳۰۰	۱۳	۹
۴۳۲	۴۰/۰	۳	۱۷	۳۶۰۸۷	۳۳۳۶۴	۱۰۵	۵
۴۳۴	۶۵/۰	۵	۱۸	۳۳۸۸۲	۲۳۲۱۸	۳۸۲	۵
۴۳۶	۸۰/۰	۵	۱۳	۴۵۰۶۸	۳۰۲۸۰	۳۶۳	۵

جدول ۳- مشخصات ریخت‌سنجی آبکندهای مطالعاتی منطقه‌ی پیک زرن‌دیه.

کد	طول آبکند (متر)	عمق متوسط (متر)	شیب بستر (%)	مساحت آبخیز از نقطه‌ی خروجی (مترمربع)	مساحت آبخیز از نقطه‌ی پیشانی آبکند (مترمربع)	مساحت آبکند (مترمربع)	شیب آبخیز آبکند (%)
۵۲۸	۲۰/۲	۱/۵	۱۰	۲۳۳۶	۲۰۴۳	۲۲۰	۴/۱
۵۳۰	۱۲/۱	۱/۴	۸	۱۰۲۳	۹۵۶	۵۲	۴/۳
۵۳۲	۸۰/۵	۲/۳	۱	۱۴۹۷۹	۱۲۴۶۱	۸۸۰	۲/۲
۵۳۴	۳۷/۷	۳/۷	۳	۵۹۷۸	۵۱۲۰	۳۵۳	۴/۱
۵۳۶	۳۰/۳	۲/۸	۱۰	۶۸۲۴	۶۰۳۲	۴۶۷	۳/۳
۵۳۸	۱۴/۶	۰/۸	۷	۵۶۸	۴۶۶	۴۵	۳/۹
۵۴۰	۱۳/۱	۲/۸	۱۵	۱۲۱۶	۱۰۰۶	۱۰۱	۴/۴
۵۴۳	۲۵/۰	۱/۲	۱۶	۳۹۹۰	۳۷۸۰	۸۵	۲/۱
۵۴۵	۶/۱	۳/۸	۱۶	۱۰۸۳۷	۱۰۶۶۴	۱۳	۲/۵
۵۴۸	۲۱/۲	۱/۷	۵	۶۳۷۰	۴۹۸۴	۵۵	۴/۴
۵۴۹	۸/۰	۱/۹	۱۲	۵۴۷۸	۵۱۳۷	۲۸	۲/۲
۵۵۰	۳۵/۵	۳/۳	۱۴	۱۴۱۱۵	۱۳۵۵۴	۱۶۵	۱/۳
۵۵۱	۱۴/۲	۲/۱	۲۸	۱۵۸۶	۱۰۶۶	۵۷	۵/۷
۵۵۲	۲۹/۵	۵/۵	۱۰	۱۷۷۹۸	۱۶۸۸۱	۳۸۵	۱/۴
۵۵۳	۴/۰	۲	۱۳	۲۰۴	۱۹۶	۹	۴/۵
۵۵۴	۴/۲	۳/۷	۱۱	۶۲۹	۶۱۳	۶	۲
۵۵۵	۸/۹	۳/۶	۱۱	۲۸۶	۲۳۶	۱۳	۶/۶

جدول ۴- مشخصات کاربری زمین، پوشش و خاک آبکندهای منطقه‌ی رباط ترک.

کد	کاربری بالادست	وضعیت پوشش	بافت خاک	pH	EC (ds/m)	نفوذپذیری (cm/hr)	OC (%)
۴۰۶	مرتع	فقیر	SCL	۷/۹	۲۶/۲	۳/۲	۰/۱۵
۴۰۸	مرتع	فقیر	SCL	۷/۹	۳۶/۶	۳/۵	۰/۲۸
۴۱۰	زراعی	متناوب (لخت و متراکم)	SCL	۷/۶	۴۸/۳	۳/۸	۰/۱۱
۴۱۲	زراعی	متناوب (لخت و متراکم)	CL	۷/۶	۲۷/۱	۳/۸	۰/۱۶
۴۱۴	زراعی	متناوب (لخت و متراکم)	SC	۷/۶	۲۵/۹	۳/۳	۰/۴
۴۱۶	زراعی	متناوب (لخت و متراکم)	SCL	۷/۸	۲۴/۱	۳/۸	۰/۱۰
۴۱۸	مرتع	فقیر	SCL	۷/۶	۲۲/۹	۳/۸	۰/۴۵
۴۲۰	زراعی	متناوب (لخت و متراکم)	SCL	۷/۶	۳۵/۵	۳/۹	۰/۴۹
۴۲۲	مرتع	فقیر	SCL	۸/۱	۴۰/۱	۳/۲	۰/۱۶
۴۲۴	مرتع	فقیر	SC	۷/۷	۳۰/۵	۳/۷	۰/۴۰
۴۲۶	مرتع	فقیر	CL	۷/۷	۱/۳۰	۳/۷	۰/۳۸
۴۲۸	مرتع	فقیر	CL	۷/۷	۲۹/۷	۳/۷	۰/۵۲
۴۳۰	مرتع	فقیر	CL	۸/۰	۲۲/۴	۳/۲	۰/۳۷
۴۳۲	مرتع	فقیر	CL	۷/۸	۲۶/۴	۳/۶	۰/۵۲
۴۳۴	مرتع	فقیر	CL	۸/۵	۶۰/۵	۳/۲	۰/۵۸
۴۳۶	مرتع	فقیر	SCL	۸/۰	۳۵/۷	۳/۴	۰/۳۹

جدول ۵- مشخصات کاربری زمین، پوشش و خاک آبکندهای منطقه‌ی پیک زرنده.

کد	کاربری بالادست	وضعیت پوشش	بافت خاک	pH	EC (ds/m)	نفوذپذیری (cm/hr)	OC (%)
۵۲۸	مرتع	فقیر	CL	۷/۹۶	۳/۴۵	۳/۲	۰/۶۴
۵۳۰	مرتع	فقیر	CL	۷/۹۱	۱/۸۷	۳/۷	۰/۴۴
۵۳۲	مرتع	فقیر	CL	۷/۸۵	۳/۵۳	۳/۷	۰/۶۶
۵۳۴	باغ	متوسط	CL	۸/۰۵	۲/۵۲	۳/۷	۰/۶۲
۵۳۶	باغ	متوسط	CL	۷/۸۲	۱/۵۴	۲/۷	۰/۵۸
۵۳۸	مرتع-باغ-جاده	فقیر تا متوسط	SCL	۸/۱۶	۱/۹۵	۳/۸	۰/۵۶
۵۴۰	مرتع-باغ-جاده	فقیر تا متوسط	CL	۸/۰۵	۱/۹۳	۳/۸	۰/۳۸
۵۴۳	مرتع-باغ-جاده	فقیر تا متوسط	CL	۸/۰۷	۱/۹۵	۳/۲	۰/۴۴
۵۴۵	باغ	متوسط	CL	۸/۲۲	۲/۱۱	۳/۷	۰/۵۶
۵۴۸	باغ	متوسط	CL	۷/۹۷	۲/۷۵	۳/۷	۰/۵۲
۵۴۹	باغ	متوسط	CL	۸/۱۳	۲/۱۱	۳/۷	۰/۵۴
۵۵۰	باغ	متوسط	C	۸/۱۵	۲/۰۳	۳/۲	۰/۴۶
۵۵۱	مرتع	فقیر	SCL	۸/۲۳	۰/۹۵	۳/۵	۰/۶۴
۵۵۲	مرتع	فقیر	CL	۷/۷۵	۳/۶۱	۳/۸	۰/۶۴
۵۵۳	مرتع	فقیر	CL	۷/۵۵	۳/۹۳	۳/۸	۰/۵۵
۵۵۴	مرتع	فقیر	CL	۷/۹۶	۲/۶۶	۳/۲	۰/۴۸
۵۵۵	مرتع	فقیر	CL	۷/۹۶	۲/۶۸	۳/۵	۰/۴۵

مساحت-شیب آبخیز با گسترش طولی آبکند در هر منطقه‌ی مطالعاتی برقرار شد که نتایج، در جدول ۷ آمده است.

جدول ۶ روابط مساحت- شیب آبکندهای حوزه‌ی آبخیز رباط ترک و منطقه‌ی پیک زرنديه را نشان می‌دهد؛ همچنین به‌منظور شناخت بیشتر تأثیر مساحت و شیب آبخیز بر گسترش طولی آبکند، رابطه‌ی

جدول ۶- روابط مساحت- شیب آبکندها در مناطق مطالعاتی.

پیک زرنديه			رباط ترک			مبنا
P-Value	ضریب تعیین	رابطه	P-Value	ضریب تعیین	رابطه	
۰/۰۰۵	۰/۳۳۲	$S=3.653A^{-1.729}$	۰/۰۰	۰/۷۰۷	$S=2.163A^{-0.665}$	از نقطه‌ی خروجی
۰/۰۰۳	۰/۳۷۳	$S=3.802A^{-1.787}$	۰/۰۰	۰/۷۰۶	$S=1.655A^{-0.495}$	از نقطه‌ی هدک

جدول ۷- روابط شیب و مساحت آبخیز با گسترش طولی آبکندها در مناطق مطالعاتی.

پیک زرنديه			رباط ترک			مبنا
P-Value	ضریب تشخیص	رابطه	P-Value	ضریب تعیین	رابطه	
۰/۲۰۲*	۰/۰۸۳	$L=0.774S^{-0.2}$	۰/۰۰	۰/۶۹۲	$L=1.913S^{-0.219}$	شیب
۰/۰۱۲	۰/۴۲۸	$L=2.160A^{0.155}$	۰/۰۰۷	۰/۴۱۸	$L=1.201A^{0.288}$	مساحت

* در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نیست.

شخم‌زده هستند، شکل می‌گیرد؛ بدین صورت که با ایجاد ناهمواری در سطح زمین بر اثر شخم و نبودن پوشش روی خاک (جدول ۴)، رواناب حاصل از بارش به شکل ذخیره‌ی چالابی درمی‌آید. نتایج تحلیل خاک منطقه نشان می‌دهد که pH در محدوده‌ی ۷/۶ تا ۸/۵ و EC در محدوده‌ی ۲۲/۴ تا ۶۰/۵ دسی‌زیمنس برمتر تغییر می‌کند (جدول ۴). با توجه به شور و قلیایی بودن خاک منطقه، این نتیجه در مطالعات و مشاهدات میدانی نیز تأیید شد (شکل ۲)؛ این مسئله را بدین صورت می‌توان توضیح داد که ذخیره‌ی چالابی با فرایند انحلال موجب فرسایش لانه‌روباهی شده است که در نهایت گسترش آبکند را به دنبال دارد. باین حال با توجه به میزان نفوذپذیری خاک این منطقه که از ۳/۲ تا ۳/۹ سانتی‌متر در ساعت متغیر است (جدول ۴) و دلالت بر سنگینی خاک دارد (شادفر و همکاران، ۲۰۱۲)، منشأ اصلی ایجاد آبکند تجمع جریان سطحی به‌صورت ذخیره‌ی چالابی است که این مسئله با رابطه‌ی قوی مساحت- شیب با توان منفی b مطابقت دارد. در سمت چپ رودخانه نیز به‌دلیل فقر پوشش گیاهی (جدول ۴)، جریان سطحی ناشی از رواناب در دامنه‌های دشتی پدید می‌آید که در حاشیه‌ی رودخانه به‌دلیل کاهش شیب، فرصت و سرعت نفوذ جریان، افزایش پیدا می‌کند. با توجه به املاح بالای خاک، به تدریج فرسایش پس‌رونده، فرسایش لانه‌روباهی، واریزه‌ی قطعه‌ای و در نهایت آبکند شکل می‌گیرد.

در منطقه‌ی آبکندی پیک شهرستان زرنديه، دامنه‌ی تغییرات طول آبکندها تقریباً مشابه رباط ترک بوده و از حدود ۴ تا ۸۰ متر متغیر است؛ ولی میانگین طول آبکند در این منطقه کمتر است (جدول ۳). در این منطقه هرچند ضریب همبستگی روابط مساحت-شیب نسبت به منطقه‌ی قبلی کمتر است، ولی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار

بحث و نتیجه‌گیری

در دو منطقه‌ی آبکندی رباط ترک و پیک زرنديه، به ترتیب ۱۶ و ۱۷ آبکند، انتخاب و مشخصه‌های ریخت‌سنجی براساس عملیات میدانی و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی استخراج شد. در نهایت رابطه‌ی مساحت-شیب برای آبکندهای هر منطقه، تهیه و رابطه‌ی مساحت و شیب آبخیز با طول آبکندها نیز برقرار شد.

در منطقه‌ی رباط ترک مشهود است که آبکندهای سمت راست رودخانه که غالباً کاربری زراعی دارند (کشت گندم آبی و بعضاً گل محمدی)، نسبت به سمت چپ رودخانه از شیب و مساحت کمتری برخوردارند؛ به‌گونه‌ای که بعضاً یک قطعه زمین زراعی مسبب ایجاد یک آبکند شده است. این در حالی است که آبکندهای سمت چپ رودخانه تماماً کاربری مرتعی دارند و آبخیز آن‌ها از دشت دامنه‌ای نشئت گرفته است. از طرفی، مساحت و شیب آبخیز آبکندهای این ناحیه بیشتر است (جدول ۲). دامنه‌ی تغییرات طول آبکندهای این منطقه از بیش از ۵ تا حدود ۸۳ متر است که متوسط عمق آن‌ها به بیش از ۳ متر می‌رسد (جدول ۲). طبق نتایج، در منطقه‌ی رباط ترک رابطه‌ی مساحت- شیب در دو حالت نسبت به خروجی و پیشانی از ضریب همبستگی زیادی برخوردار است؛ با این توضیح که در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است (جدول ۶). در این حالت ضریب a در این روابط بیشتر از یک است. از طرفی ضریب b در تمام حالات منفی بود که این نشان می‌دهد با افزایش شیب، مساحت آبخیز آبکند نیز کاهش می‌یابد؛ همچنین عدد منفی بیانگر این است که عامل جریان سطحی در گسترش آبکندها نقش داشته است. با توجه به مشاهدات صورت گرفته به نظر می‌رسد در آبکندهایی که آبخیز بالادست آن‌ها کاربری زراعی دارد، ایجاد آبکند وقتی که زمین‌های

و قلیایی بودن خاک در دو منطقه، به ویژه رباط ترک، تأثیر پدیده‌ی انحلال نیز مشهود است. در این رابطه، راهی (۱۹۹۸) نیز در تحقیقات خود یکی از دلایل گسترش آبکند را مقدار املاح فراوان در خاک منطقه‌ی بندر گناوه می‌داند؛ همچنین برخلاف منطقه‌ی رباط ترک، رابطه‌ی مساحت- شیب آبکندهای پیک زرنده از ضریب همبستگی ضعیفی برخوردار است (جدول ۶) و به عبارت دیگر بین شیب و مساحت آبکندهای منطقه‌ی مطالعاتی پیک زرنده، ارتباطی قوی وجود ندارد. این نتیجه برخلاف نتایج صوفی و ابوالوردی (۲۰۰۸) است که بیان می‌دارند در مناطق شیب‌دار ضریب تبیین، کاهش می‌یابد و به رغم کم بودن شیب منطقه‌ی آبکندی پیک زرنده نسبت به رباط ترک، ضریب همبستگی کمتر است. در این حالت ضریب a در روابط رباط ترک کمتر از منطقه‌ی مطالعاتی دیگر است؛ از طرفی به رغم پایین بودن ضریب همبستگی در منطقه‌ی پیک زرنده، مقدار ضریب b نسبت به منطقه‌ی دیگر بیشتر است و بنابر نتایج دستم و همکاران (۱۹۹۹) و توکلی و همکاران (۲۰۱۵)، بهترین نتیجه برای تعیین روند پیشرفت آبکند، زمانی حاصل می‌شود که b بزرگ باشد؛ به عبارت دیگر احتمال می‌رود که آبکندهای منطقه‌ی رباط ترک جوان تر باشند؛ در حالی که در پژوهش آراجو بیجون (۲۰۱۵) توان رابطه‌ی مساحت و شیب آبکندهای کم عمق، بیشتر از آبکندهای عمیق است.

بررسی رابطه‌ی بین شیب آبخیز آبکند، با طول آبکند در منطقه‌ی رباط ترک، نشان‌دهنده‌ی یک رابطه‌ی منفی نسبتاً قوی است (جدول ۷). این نتیجه نشان می‌دهد که با افزایش شیب آبکندها، طول آن‌ها کاسته می‌شود؛ اما بررسی رابطه‌ی بین مساحت آبخیز آبکند، با طول آبکند نشان‌دهنده‌ی یک رابطه‌ی مثبت نه‌چندان قوی و مناسب است (جدول ۷)؛ بنابراین به نظر می‌رسد عامل شیب آبخیز آبکند، نسبت به عامل مساحت، تأثیر بیشتری بر گسترش آبکند دارد. این نتیجه با نتایج پژوهش مهدی‌پور و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد؛ همچنین بررسی رابطه‌ی بین شیب آبخیز آبکند، با طول آبکند در منطقه‌ی پیک زرنده نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی منفی خیلی ضعیف (جدول ۷) است. این نتیجه نشان می‌دهد که شیب آبکندها تأثیری بر طول آن‌ها نداشته است؛ اما بررسی رابطه‌ی بین مساحت آبخیز آبکند، با طول آبکند نشان‌دهنده‌ی یک رابطه‌ی مثبت نه‌چندان قوی و مناسب است (جدول ۷)؛ باین حال عامل مساحت تأثیر بیشتری بر گسترش آبکندها داشته است و در این رابطه، سطح قطعات و کرت‌های باغ پسته مانند آبخیز عمل کرده است. در تأیید این موضوع فرانکل و همکاران (۲۰۱۳) نیز بر اهمیت مساحت آبخیز آبکند، نسبت به طول آن تأکید داشته‌اند؛ ولی به هر حال نقش فعالیت‌های انسانی، تغییرات کاربری زمین‌ها و فعالیت‌های کشاورزی را چه در روابط مساحت و شیب و چه در روابط طول و شیب و طول و مساحت آبخیز آبکند نباید از نظر دور داشت. در این رابطه آراجو و پیجون (۲۰۱۵)، آفیک‌بوا و همکاران (۲۰۱۶) و ذبیحی و همکاران (۲۰۱۸) بر نقش مهم فعالیت‌های انسانی و تغییرات کاربری زمین و پوشش گیاهی در کنار حساسیت خاک، در تشکیل آبکندها اشاره دارند. این امر در

است (جدول ۶). منفی بودن b نیز نشان می‌دهد که با افزایش شیب، مساحت آبخیز آبکند کاهش می‌یابد. عدد منفی b بیانگر این هم هست که عامل جریان سطحی در گسترش آبکندها نقش داشته است؛ ولی به دلیل ضریب همبستگی پایین روابط، نمی‌توان در پذیرش این دلایل به اعتماد کافی رسید و باید در پی دلایل دیگر در شکل‌گیری و گسترش آبکندهای این منطقه بود. با توجه به مشاهدات صورت‌گرفته‌ی ریخت‌شناسی، آبکند آبخیزهای پیک زرنده شباهت زیادی با منطقه‌ی رباط ترک دارد و در حاشیه‌ی رودخانه، بر زمین‌های کم‌شیب شکل گرفته است. با توجه به بررسی میدانی، آبکندهای سمت چپ رودخانه‌ی پیک زرنده غالباً کاربری مختلط مرتع-باغ پسته دارند که وجود جاده‌ی خاکی به موازات رودخانه، در فاصله‌ی ۵۰۰ متری از رودخانه نیز مشهود است. این در حالی است که زمین‌های بالادست آبکندهای سمت راست رودخانه، کاربری باغ پسته دارند و آبخیز آبکند این ناحیه بیشتر بر اثر کرت‌بندی و ایجاد قطعات پسته‌کاری شکل گرفته است (شکل ۳). به نظر می‌رسد آبکندهای سمت راست رودخانه‌ی منطقه‌ی آبکندی پیک زرنده از نظر فرایند تشکیل، مشابه آبکندهای سمت راست رودخانه‌ی منطقه‌ی رباط ترک باشند. بدین صورت که شخم و کرت‌بندی زمین‌ها موجب تجمع جریان می‌شود (شکل ۳). از طرفی فقر پوشش گیاهی نواحی مرتعی (جدول ۵) و نفوذپذیری کم منطقه که از ۲/۷ تا ۳/۸ سانتی‌متر بر ساعت متغیر است (جدول ۵)، موجب ایجاد رواناب می‌شود که این نیز در نواحی‌ای که چالاب طبیعی یا مصنوعی وجود داشته باشد، موجب تجمع جریان می‌شود.

نتایج تحلیل خاک منطقه نشان داد که pH در محدوده‌ی ۷/۵ تا ۸/۲ و EC در محدوده‌ی ۰/۹ تا ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر تغییر می‌کند (جدول ۵) که این نتیجه، بیانگر شور و قلیایی بودن خاک منطقه است و این در مطالعات و مشاهدات میدانی نیز تأیید شد. فرایند انحلال بعد از تجمع جریان، شکل می‌گیرد و با ایجاد فرسایش پس‌رونده، آبکند گسترش می‌یابد. باین حال همانند منطقه‌ی رباط ترک منشأ اصلی ایجاد آبکند، تجمع جریان سطحی به صورت ذخیره‌ی چالابی است؛ اما در سمت چپ رودخانه، علاوه بر دلیل گفته‌شده، شیوه‌ی آبیاری باغ‌های پسته نیز در ایجاد و توسعه‌ی آبکندها نقش مؤثری داشته است؛ بنابراین ایجاد و گسترش آبکندهای منطقه‌ی پیک زرنده، بیشتر به قلیایی بودن و شوری خاک مربوط است که در نهایت پدیده‌ی انحلال را در پی دارد.

بنابراین، در دو منطقه‌ی بررسی‌شده، برقراری رابطه‌ی توانی منفی مساحت- شیب، گویای نقش بسزای عامل جریان سطحی در گسترش آبکندهاست. در این رابطه پژوهش‌های واندکرفوف و همکاران (۲۰۰۰)، ناشترگیل و پوزن (۲۰۰۲)، صوفی و ابوالوردی (۲۰۰۸)، سلیمان‌پور و همکاران (۲۰۰۹)، یثربی و همکاران (۲۰۱۰) و توکلی و همکاران (۲۰۱۵) نیز در رابطه‌ی توانی منفی بین شیب و مساحت زهکش واقع در بالادست پیشانی آبکندها، بیانگر تأثیر رواناب سطحی در گسترش آبکندهای پنجه‌ای است. از طرفی، به دلیل شور بودن

مه‌ار انسان است؛ اما می‌تواند در اعمال مدیریت زمین دخیل باشد. تقویت پوشش گیاهی بومی، مدیریت تغییرات کاربری زمین، به‌ویژه در حاشیه‌ی رودخانه‌ها و جلوگیری از تمرکز جریان، به‌خصوص در کاربری‌های کشاورزی، مهم‌ترین راهکارهای اجرایی به‌منظور کاهش سرعت ایجاد و گسترش آبکند در مناطق مطالعاتی هستند. در دو منطقه‌ی مطالعاتی، بر مبنای روابط آستانه‌ی پستی‌وبلندی نقش جریان‌های سطحی مشهود بود؛ ازسوی دیگر ویژگی‌های خاک منطقه و شواهد موجود، تأثیر جریان‌های زیرسطحی و انحلال موارد را به‌خوبی نمایان می‌کند و به نظر می‌رسد با ایجاد گروه‌های همگن آبکند، به‌خصوص از نظر نوع کاربری، پوشش گیاهی و عمق آبکند می‌توان به روابط دقیق‌تر و در پی آن به نقشه‌ی مناطق مستعد با دقت قابل‌پذیرش دست یافت؛ همچنین با پایش تغییرات در مراحل مختلف ایجاد و تمرکز جریان، تغییرات ابعاد آبکند و پیشانی آن، به‌ویژه در مناطق خشک مشابه مناطق مطالعاتی پژوهش حاضر، ضمن درک بهتر فرایندها می‌توان به مبنای بهتری در برنامه‌های مدیریتی رسید.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پژوهشی با عنوان «بررسی آستانه‌ی مساحت- شیب در فرسایش آبکندی در ایران، استان مرکزی» است که در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به انجام رسیده است. نویسندگان مقاله از کمک‌های این مرکز و پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آب‌خیزداری و همکاران محترم این طرح مطالعاتی تشکر و قدردانی می‌کنند.

منطقه‌هایی که شرایط اقلیمی و خاک آن‌ها مشابه است، مشهودتر است و می‌تواند به‌عنوان عاملی برای همگن‌سازی و در پی آن افزایش ضریب تبیین روابط تجربی حاصله استفاده شود (فرانکل و همکاران، ۲۰۱۳؛ آراجو و پیجون، ۲۰۱۵)؛ ازسوی دیگر در مناطقی با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، سرعت تشکیل و گسترش آبکندها بیشتر است و توجه به مقیاس زمانی در بررسی‌ها بسیار اهمیت دارد. در تأیید این مطلب می‌توان به پژوهش زویگ و همکاران (۲۰۱۸) در فلسطین اشغالی اشاره کرد.

به‌طور کلی، با توجه به بحران آب و خشکی سامانه‌های طبیعی کشور و تخریب و کاهش حاصلخیزی و بعضاً تقسیم و خارج‌شدن زمین‌های کشاورزی از حیز ارتفاع به‌وسیله‌ی آبکندها، لازم است با شناخت فرایندهای آب‌سناختی مؤثر بر ایجاد و گسترش آبکندها، به راهکارهای مدیریتی قابل‌اجرا برای پیشگیری از بروز و توسعه‌ی این نوع فرسایش دست یافت. در این پژوهش کارایی آستانه‌ی پستی‌وبلندی در تعیین نوع فرایند آب‌سناختی ایجاد آبکند در دو منطقه‌ی آبکند با شرایط اقلیمی خشک استان مرکزی بررسی شد. هرچند در دو منطقه، مقادیر b منفی بود که بیانگر نقش جریان سطحی در ایجاد آبکند است که البته ضرایب همبستگی روابط مساحت- شیب در منطقه‌ی رباط‌ترک مقادیر بالاتری نسبت به منطقه‌ی پیک زرن‌دیه داشت؛ ولی مقدار این ضریب در منطقه‌ی رباط‌ترک گویای جوان‌تربودن آبکندهای منطقه‌ی اول است. نکته‌ی مهمی که لازم است به آن اشاره شود، حساس‌بودن خاک دو منطقه نسبت به فرسایش، به‌خصوص فرسایش تونلی است؛ بنابراین، خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک و نیز نوع کاربری آن، تأثیر بسزایی در ایجاد و گسترش آبکند دارد. در این زمینه، تغییر خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک بسیار مشکل و شاید خارج از

منابع

- Abdulfatai IA, Okunlola WG, Akande L, Momoh O, Ibrahim KO. 2014. Review of gully erosion in Nigeria: causes, impacts and possible solutions. *Journal of Geosciences and Geomatics*. 2(3): 125–129.
- Addis HK, Adugna B, Gebretsadik M, Ayalew B. 2015. Gully morphology and rehabilitation measures in different agroecological environments of Northwestern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*. 9 p. DOI: 10.1155/2015/789479.
- Afegbua UK, Uwazuruonye J, Jafaru B. 2016. Investigating the causes and impacts of gully erosion in Auchi, Nigeria. *Journal of Geography Environment and Earth Science International*. 1–13.
- Agharazi H, Davudirad AA, Mardian M, Soufi M. 2014. Investigation of area-slope Thershold of gullies in Zahirabad Watershed, Shazand, Maekazi Province. *Watershed Engineering and Management*. 6(1): 1–9. (In Persian).
- Araujo TP, Pejon OJ. 2015. Topographical threshold for predicting gully erosion in the tropical region of São Pedro, SP, Brazil. *EJGE*. 20(18): 10043–10059.
- Archibold OW, Levesque J, De Boer DH, Aitken AE, Delanoy L. 2003. Gully retreat in a semi-urban catchment in Saskatchewan. *Journal of applied geomorphology*. 23(4): 261–279.
- Bayati Khatibi M, Rajabi M, Karami F. 2011. Investigation of topographic thresholds and analyzing role of surface materials on gully development in the hillslope of semi-arid areas, Case study: Shoorchay. *Geography and Environmental Plan-*

- ning Journal. 22(1): 15–34. (In Persian).
- Bergonse R, Reis E. 2016. Controlling factors of the size and location of large gully systems: A regression-based exploration using reconstructed pre-erosion topography, *Catena*. 147: 621–631.
- Davudirad AA, Soufi M, Ebrahimi NG, Najimi A. 2008. A morphoclimatic classification of gullies in Markazi Province. Research project report. Agricultural and natural Resources Research Center, Markazi Province, Iran. 102 p. (In Persian).
- Desmet, PJJ, Poesen J, Govers G, Vandaele K. 1999. Importance of slope gradient and contributing area for optimal prediction of the initiation and trajectory of ephemeral gullies. *Catena*. 37(3–4): 377–392.
- Frankl A, Poesen J, Scholiers N, Jacob M, Haile M, Deckers J, Nyssen J. 2013. Factors controlling the morphology and volume (V)–length (L) relations of permanent gullies in the Northern Ethiopian Highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*. 38(14):1672–1684.
- Mehdipour A, Soufi M, Baniasadi M. 2007. Gully development and topographic threshold, case study: Kerman Province, Southeast of IR Iran. In Javier Casali, Rafael Giménez (eds.): *Progress in Gully Erosion Research. IV International Symposium on Gully Erosion*. September 17–19, 2007. Pamplona, Spain. 92–93.
- Nachtergaele J, Poesen J. 2002. Spatial and temporal variations in resistance of loess-derived soils to ephemeral gully erosion. *European Journal of Soil Science*, 53(3): 449–463.
- Okoth PF. 2002. A Hierarchical method for soil erosion assessment and spatial risk modelling. A case study of Kiambu District in Kenya. Dissertation. Wageningen University, 232 p.
- Phillips JD. 2006. Evolutionary geomorphology: thresholds and nonlinearity in landform response to environmental change. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. European Geosciences Union. 3 (2): 365–394.
- Poesen J. 2011. Challenges in gully erosion research. *Landform Analysis*. 17: 5–9.
- Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, Valentin C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*. 50(2): 91–133.
- Poesen J, Vandekerckhove L, Nachtergaele J, Wijdenes DO, Verstraeten G, VanWesemael B. 2002. Gully erosion in dryland environments. In: Bull LJ, Kirkby MJ, Editors. *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels*, John Wiley & Sons, pp. 229–262.
- Rahi Gh. 1998. Investigation of mechanism and reason gully establishment in the Genaveh port. A thesis of M.Sc. Faculty of Natural Resources. Tarbiat Modares University, 102 p. (In Persian).
- Shadfar S, Davudirad A, Peyrovan H. 2012. Investigation and comparison of gully erosion characteristics in agriculture and rangelands, Case Study: Rabat Turk Basin. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 4(3): 217–222. (In Persian).
- Shahab Arkhazlou H, Emami H, Haghnia Gh, Esmali A, Mahmood Abdi M. 2016. Determining topographic threshold and effect of soil properties on gully development in three regions of Ardabil Province. *Journal of Water and Soil Conservation*. 23(3): 1–24.
- Shahbazi Kh, Salajeghe A, Jafari M, Ahmadi H, Nazari Samani AA, Khosroshahi M. 2016. Comparison of hydraulic thresholds of gully erosion in different land uses (Case study: Qasr Shirin, Kermanshah Province). *Journal of Range and Watershed Management*. 69(4):931–947. (In Persian).
- Soleimanpour SM, Soufi M, Ahmadi H. 2009. Determining effective factors on gully development in Konartakhte Region, Fars Province. *Journal of Water and Soil*. 23(1): 131–141. (In Persian).
- Soufi M. 2004. Morpho-climatic classification of gullies in Fars province, Southwest of IR Iran. ISCO 2004. 13th International Soil Conservation Organisation Conference. Brisbane. July 2004, 750. 4 p.
- Soufi M, Abolverdi Z. 2008. Investigation of topographic threshold in development of gullies in the Fars Province. 1th National Conference of management and agricultural development in the Iran, 4 p. (In Persian).
- Sufi M, Davudirad AA. 2008. Comparison of gully erosion in two different climatic and land use conditions in the central Iran, Markazi Province. ISCO 2008. 15th International Soil Conservation Organisation Conference. May 2008. Budapest. Hungry. 4 p.
- Tavakoli M, Rostamizad GH, Nazari Samani AA. 2015. Determine the location of gully occurred based on the geomorphology threshold and factors affecting it (Case study: Cham-e-Zhab of Darreshahr, Ilam). *Environmental Erosion Reserch*. 1(17): 44–57. (In Persian).
- Torri D, Poesen J. 2014. A review of topographic threshold conditions for gully head development in different environments. *Earth-Science Reviews*. 130: 73–85.
- Vandekerckhove L, Poesen J, Oostwoud D, De-Figueiredo T. 1998. Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean. *Catena*. 33(3–4): 271–292.
- Vandekerckhove L, Poesen J, Oostwoud D, Nachtergaele J, Kosmas C, Roxo MJ, De-Figueiredo T. 2000. Thersholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe.

Earth Surface Processes and Landforms. 25(11): 1201–1220.
Vanmaercke M, Poesen J, Van Mele B, Demuzere M, Bruynseels A, Golosov V, Bezerra JFR, Bolysov S, Dvinskih A, Frankl A, Fuseina Y. 2016. How fast do gully headcuts retreat?. *Earth-Science Reviews*. 154: 336–355.
Wilson GV, Cullum RF, Romkens MJ. 2008. Ephemeral gully erosion by preferential flow through a discontinuous soil-pipe. *Catena*. 73(1): 98–106.
Yasrebi B, Noormohammadi F, Soufi M, Sadeghi SHR. 2010. Investigation of topographic threshold gully erosion in the Darreh-Shahr, Ilam Province. 4th National conference on erosion and sediment, Tarbiat Modarres University, 8 p. (In Persian)

Zabihi M, Mirchooli F, Motevalli A, Darvishan AK, Pourghasemi HR, Zakeri MA, Sadighi F. 2018. Spatial modelling of gully erosion in Mazandaran Province, northern Iran. *Catena*. 161: 1–13.
Zhou P, Luukkanen O, Tokola T, Nieminen J. 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*. 75 (3): 319–325.
Zweig R, Filin S, Avni Y, Sagy A, Mushkin A. 2018. Land degradation and gully development in arid environments deduced by mezzo-and micro-scale 3-D quantification–The Negev Highlands as a case study. *Journal of Arid Environments*. 153: 52–65.

