

بررسی آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی در دو منطقه از استان فارس (مطالعه موردی: فداغ لارستان، علامرودشت لامرد)

مریم زارع^{۱*}، مجید صوفی^۲، مسعود نجابت^۲ و لادن جوکار^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۲)

چکیده

فرسایش آبکندی به دلیل تولید رسوب و خسارات فراوانی که در نتیجه تخریب اراضی، راه‌ها و سازه‌های عمرانی در استان فارس وارد می‌نماید از اولویت بالایی برخوردار است. در این پژوهش برای تعیین آستانه توپوگرافی پیدایش و گسترش آبکنند در استان فارس، دو منطقه شامل علامرودشت لامرد و فداغ لارستان انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت و از هر یک از مناطق یاد شده ۳۰ آبکنند انتخاب و آستانه توپوگرافی ترسیم شد. برای پی بردن به تأثیر پارامترهای اندازه‌گیری شده بر آستانه توپوگرافی، آبکندهای هر منطقه بر اساس پارامترها و با استفاده از تحلیلی خوشه‌ای دسته‌بندی شدند. به منظور تعیین اثر عوامل و پارامترها برای تفسیر نوع فرآیند هیدرولوژیک غالب در ایجاد و گسترش آبکندها از روش آنالیز چند متغیره در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. با استفاده از رابطه توانی بین مساحت آبخیز و شیب هر آبکنند، نوع فرآیند غالب هیدرولوژیک در ایجاد و گسترش آبکندها از طریق نرم‌افزار Excel مشخص شد و با ضرایب منطقه‌ای تحقیقات انجام شده در خارج از کشور مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در هر دو منطقه مورد مطالعه، عامل هیدرولوژیک مؤثر در گسترش آبکندها، رواناب سطحی می‌باشد. نتایج نشان داد در این مناطق گردتر شدن حوضه بالادست، افزایش نسبت جذب سدیم و لخت و بدون پوشش ماندن زمین سبب کاهش آستانه توپوگرافی و کشیده‌تر شدن حوضه، افزایش ماده‌آلی خاک و افزایش عمق آبکندها سبب افزایش آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی شده است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش آبکندی، آستانه توپوگرافی، ایجاد و گسترش آبکنند، فداغ، علامرودشت

۱. گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: maryamzare63@gmail.com

مقدمه

و شیب بالای پیشانی آبکندها داشته که S شیب، A مساحت آبکند در بالای پیشانی آبکند و a و b ضرایب محیطی هستند. رابطه دیگری برای نشان دادن آستانه مساحت و شیب وجود دارد که در آن $SA^b > t$ ارایه شده که t عدد آستانه توپوگرافی است. علامت منفی نمای b مبین رواناب سطحی و علامت مثبت آن معرف رواناب زیر سطحی است (۱۷).

نیک‌نام و همکاران، در مطالعه‌ای که روی منطقه بن‌رود زنگنه انجام دادند به این نتیجه رسیدند که نمای رابطه $S = aA^b$ منفی و برابر $0/1698-$ است و به دلیل منفی بودن b در این رابطه نتیجه‌گیری نموده که عامل اصلی ایجاد آبکند در این منطقه جریان سطحی است (۶).

مورگان و نومزولو، به کاربری اراضی، نوع خاک، سازند زمین‌شناسی و رژیم بارندگی به‌عنوان عوامل مؤثر بر آستانه توپوگرافی اشاره کرده است. به علاوه هر نوع تغییر در کاربری اراضی، که سبب کاهش مقاومت سطحی خاک و تولید بیوماس گردد می‌تواند باعث کاهش آستانه توپوگرافی در فرسایش آبکندی شود (۱۰).

در مطالعه‌ای که در فلات لسی چین توسط هسل و هاچ، انجام شد، نمای رابطه توانی بین $0/1839$ و $0/2385-$ تعیین گردید. این مطالعه نشان داد که برای شروع آبکندهای موقتی در زمین‌های شخم خورده در فلات لسی چین ترکیبی از عوامل توپوگرافی لازم است (۹).

به علاوه رابطه بین دو عامل مساحت و شیب بالای پیشانی آبکند، به‌عنوان شاخصی برای تعیین موقعیت سر آبکندها در شیب تپه‌های واقع در فلات لسی چین پیشنهاد شده است. ضریب b به‌دست آمده توسط دانشمندان چون مورگان و نومزولو 2003 ، برای سوازی‌لند در آفریقای جنوبی، بین $0/1103$ تا $0/2610$ ، وندکرکوف و همکاران (۱۷)، در پرتغال و اسپانیا $0/226$ تا $0/133$ و وانواله‌ایم و همکاران (۱۸)، در بلژیک $0/152$ و $0/141$ اعلام شده است.

در مطالعه‌ای که توسط سوروی، در حوزه یزهکل اسرائیل انجام شد، آستانه توپوگرافی با استفاده از رابطه بین شیب و مساحت

امروزه کمتر منطقه‌ای را در سطح زمین می‌توان یافت که در معرض تخریب و فرسایش قرار نگرفته باشد. فرسایش خاک توسط آب، یکی از عوامل تخریب منابع طبیعی می‌باشد که با از دست رفتن خاک حاصلخیز و مواد غذایی موجود در خاک و در نتیجه گیاهان موجب خسارت زیادی می‌گردد (۲). اراضی وسیعی در کشور و به ویژه در استان فارس تحت تأثیر فرسایش آبکندی می‌باشند. آبکندهای استان فارس با پراکنش در ۷ اقلیم گوناگون با مساحتی معادل 47924 هکتار را دربر می‌گیرند (۳).

یکی از آستانه‌های مورد بررسی، آستانه توپوگرافی است. در بررسی‌های انجام شده برای تعیین آستانه توپوگرافی عنوان شده است که برای ایجاد و گسترش آبکند آستانه‌هایی برای سطح زهکشی (A) و شیب (S) موجود در بالادست نقطه پیدایش یا پیشانی آبکند وجود دارد (۱۲).

آستانه در تحقیقات مربوط به ژئومورفولوژی و اکوسیستم‌های طبیعی دارای اهمیت بسیاری است که توسط بسیاری از دانشمندان و نیز بسیاری از متون تخصصی در بیست ساله اخیر بحث و بررسی شده است. در ساده‌ترین تعریف، آستانه عبارت از نقطه‌ای است که پس از آن رفتار سیستم تغییر می‌کند (۱۳).

فرسایش آبکندی دارای آستانه‌هایی است. این آستانه‌ها به‌عنوان آستانه هیدرولیکی، بارندگی، توپوگرافی، خاک‌شناسی و کاربری زمین اشاره شده‌اند (۱۲). یکی از آستانه‌های مورد بررسی آستانه توپوگرافی است. در بررسی‌های صورت گرفته برای تعیین آستانه توپوگرافی عنوان شده که برای ایجاد و گسترش آبکند یک حد آستانه برای سطح زهکشی (A) و شیب (S) در بالای نقطه ایجاد و یا پیشانی گسترش آبکند وجود دارد.

دیتریخ و همکاران (۸)، آستانه توپوگرافی را حد و مرزی از مساحت و شیب بالای پیشانی آبکند دانسته‌اند که تجاوز با از این حد، فرسایش آبکندی اتفاق خواهد افتاد. مطالعات انجام گرفته توسط وندکرکف و همکاران، نشان از وجود آستانه توپوگرافی در فرسایش آبکندی به صورت رابطه $S = aA^b$ بین مساحت

منطقه بر روی آبرفت دوره کوتاه‌تر ایجاد شده است. ارتفاع متوسط منطقه ۵۳۸ متر از سطح دریا و اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن گسترده، اقلیم خشک بیابانی معتدل است. میانگین دمای سالانه ۲۶ درجه سانتی‌گراد و بارندگی متوسط سالانه بر اساس آمار ۲۲ ساله، ۱۹۴/۷ میلی‌متر و حداکثر بارندگی روزانه طی یک دوره ۲۰ ساله، ۱۳۲ میلی‌متر برآورد شده است (۴). منطقه علامرودشت در جنوب استان فارس، با وسعت ۲۸۵/۸۲ کیلومترمربع واقع شده است. محدوده مورد مطالعه دارای سازند زمین‌شناسی آبرفت دوره کوتاه‌تر می‌باشد. میانگین دمای سالانه ۲۴/۷ درجه سانتی‌گراد و بارندگی متوسط سالانه بر اساس آمار، ۲۳۵/۶۸ میلی‌متر و حداکثر بارندگی روزانه ۴۷/۳ میلی‌متر برآورد شده است. ارتفاع متوسط منطقه ۴۵۸/۷ متر از سطح دریا و اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن گسترده، خشک بیابانی می‌باشد (۵) شکل ۱ موقعیت مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سال (۱۳۷۳) و تصاویر ماهواره‌ای IRS (۲۰۰۸) ابتدا مرز آبخیز و مرز فرسایش آبکندی جهت تعیین آبکندهای منتخب مناطق فداغ و علامرودشت در نرم افزار Ilwis مشخص و ترسیم شد. با بررسی میدانی آبکندها و پلان عمومی آنها، ۳۰ آبکنده در هر منطقه به منظور اندازه‌گیری حجم فرسایش آبکندی و ویژگی‌های حوزه آبخیز واقع در بالای پیشانی و خروجی آنها روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سال (۱۳۷۳) و در صحرا سال (۱۳۸۹) تعیین گردید. با توجه به تحقیقات نیک‌نام و صوفی (۶)، مقاطع عرضی آبکندها با فواصل ۱۰ متری اندازه‌گیری شدند (شکل ۲) (۱۱).

در هر مقطع ابعاد آبکنده شامل عمق، عرض بالا و عرض پایین اندازه‌گیری میدانی شد و حجم فرسایش آبکندی از مجموع احجام جزئی در آبکندها به دست آمد (شکل ۳). حجم جزیی از ضرب متوسط دو مقطع مجاور در فاصله بین آنها تعیین شد. سپس اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های حوزه آبخیز آبکندهای

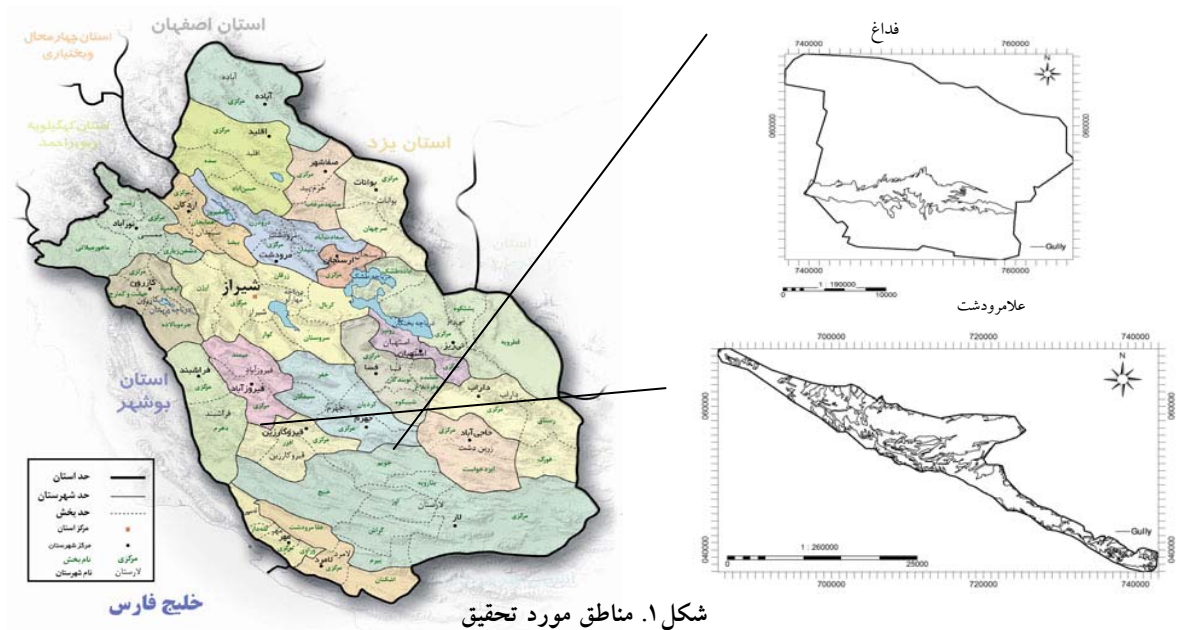
بالای پیشانی آبکندها، مورد بررسی قرار گرفت. ایشان دریافت که تأثیر عواملی مثل باران زیاد و طولانی مدت در فصل زمستان و لخت و بدون پوشش ماندن زمین، سبب کاهش آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی در این منطقه می‌شود (۱۵). تحقیقات انجام شده در ایران و کشورهای مختلف نشان داده است که در گسترش فرسایش آبکندی عواملی مانند ویژگی‌های آبخیز مانند مساحت آبخیز، شیب، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ویژگی‌های مورفومتریک آبکندها مؤثر است (۱۸). اندازه‌گیری میدانی فرآیندها، نیازمند زمان و بودجه لازم است. محققین سعی نموده‌اند با مدل‌سازی آبکندها و انتخاب عوامل قابل اندازه‌گیری بتوانند روابط ایجاد و پیشروی آبکندها و از طرفی نوع فرآیند غالب و مؤثر پیشروی آبکندها را تعیین کنند (۷). از آنجا که در بسیاری از آبخیزهای دنیا مخصوصاً جهان سوم فقدان وسایل و ادوات اندازه‌گیری و کمبود بودجه وجود دارد، محققین به سمت استفاده از پارامترهای جایگزین نظیر انتخاب مساحت آبخیز برای برآورد حجم رواناب و شیب به عنوان جایگزین سرعت جریان توجه داشته‌اند (۱).

هدف از انجام این تحقیق اثبات وجود رابطه توانی بین مساحت و شیب در مناطق آبکندی، تعیین مقدار نمای رابطه توانی بین شیب و مساحت و علل تفاوت آن با سایر کشورها یا اکوسیستم‌ها و شرایط اکولوژیک، تعیین نوع فرآیند هیدرولوژیک غالب در ایجاد و یا پیشروی آبکندها و تطبیق آن با علایم قابل مشاهده میدانی، اثبات نوع فرآیند هیدرولوژیک غالب برای ارائه راه‌کارهای عملی پیشگیری از ایجاد و مدیریت کنترل آبکندها و کاهش هزینه‌های تحقیق از جهت حذف ادوات و وسایل اندازه‌گیری است.

مواد و روش‌ها

مشخصات مناطق مورد مطالعه

منطقه فداغ با وسعت ۴۳۰/۲۵ کیلومترمربع در جنوب استان فارس و در جنوب غرب شهرستان لار واقع شده است. این



شکل ۲. اندازه‌گیری مقاطع عرضی آبکندها با فواصل ۱۰ متری



شکل ۳. اندازه‌گیری طول بالا و پایین در آبکندها (عکس سمت راست فداغ، عکس سمت چپ علامرودشت)

بالای پیشانی و خروجی هر آبکندها پس از تعیین نقاط ارتفاعی و مساحت آبخیز واقع در نرم‌افزار ARCGIS صورت گرفت. مساحت آبخیز واقع در DEM (Elevation Model Digital) توسط نقشه‌های توپوگرافی

منتخب مانند مساحت و شیب واقع در بالادست پیشانی و خروجی آبکندها در صحرا و برخی دیگر مانند تراکم آبکندها و تهیه نقشه رقومی ارتفاعی

زیاد هستند. نوع پلان عمومی و آبکند در هر دو منطقه از نوع پنجه‌ای و جانبی است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که طول آبکندهای فداغ بین ۴۴ تا ۲۴۷ متر و آبکندهای علامرودشت طولی بین ۱۳/۶۷ تا ۱۳۱/۴ بودند که میانگین طول آبکندهای منطقه فداغ و علامرودشت به ترتیب ۱۰۰/۶۵ و ۴۷/۷۰ است. ویژگی آبکندهای مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد که عمق متوسط آبکند، در مناطق فداغ و علامرودشت به ترتیب ۱/۳۱ و ۰/۸۴ که جزء آبکندهای عمیق (عمق بیش از ۰/۸ متر) قرار دارند (جدول ۱).

نوع خاک، سازند زمین‌شناسی و پوشش گیاهی از عوامل مؤثر بر آستانه توپوگرافی هستند. یکی از عواملی که سبب کاهش آستانه توپوگرافی فرسایش می‌شود لخت و بدون پوشش ماندن زمین مناطق آبکندی می‌باشد. جدول ۲ مقادیر خاک لخت در مقایسه با پوشش گیاهی و سنگریزه در بالادست پیشانی آبکندهای فداغ لارستان و علامرودشت لامرد را نشان می‌دهد. متوسط درصد خاک لخت در بالادست بالاکند در آبکندهای منتخب فداغ و علامرودشت به ترتیب ۹۴/۸ و ۹۴/۹۷ می‌باشد. با توجه به اطلاعات فوق می‌توان بیان داشت که پدیده فرسایش آبکندی و رواناب در این منطقه به علت وجود خاک لخت زیاد و فقدان شدید پوشش گیاهی در بالای هدکت آبکندهای منطقه فداغ و علامرودشت موجب افزایش مساحت منطقه آبکندی و کاهش آستانه توپوگرافی می‌شود.

سازند زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه (آبرفت دوره کواترنری)، به دلیل وجود لایه‌های سست و ریز دانه، باعث ایجاد جریان سطحی و در نهایت گسترش آبکند و تولید رسوب می‌گردد. مطالعات سنگ‌شناسی دوره کواترنری در استان فارس، نشان‌دهنده این واقعیت است که نهشته‌های این دوره در این مناطق توسعه چندانی نداشته‌اند و این پدیده را می‌توان چنین تفسیر نمود که منطقه از نظر وضعیت ناهمواری، جوان می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که سازندهای دوران گذشته، منشأ رسوب‌گذاری دوره کواترنری بوده‌اند، در نتیجه این نهشته‌ها از نظر پایداری در برابر فرسایش، حساس بوده و مستعد تولید رسوب می‌باشند.

اندازه‌گیری طول با استفاده از متر، شیب بالای پیشانی، خروجی هر آبکند به کمک شیب‌سنج و مساحت کاربری‌های مختلف اندازه‌گیری شد. درصد پوشش گیاهی، سنگریزه و خاک لخت در آبخیز واقع در بالای پیشانی هر آبکند منتخب با قرار دادن تصادفی حداقل ۱۰ پلات یک مترمربعی در امتداد ترانسکت اندازه‌گیری شد و از پیشانی هر آبکند یک نمونه خاک برداشت و درصد رس، سیلت و شن، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، درصد ماده آلی خاک، درصد کربن آلی خاک، اسیدیته خاک و مقدار منیزیم، سدیم، کلسیم، پتاسیم و بافت خاک در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و در نهایت رابطه بین حجم فرسایش و عوامل مرتبط با استفاده از روش گام به گام در نرم افزار Spss مورد تحلیل قرار گرفت.

مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۵ متر، با استفاده از یکی از نرم افزارهای GIS و بر اساس نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه گردید. بر اساس مدل رقومی ارتفاعی به دست آمده، مساحت آبخیز و شیب واقع در بالا دست پیشانی هر آبکند محاسبه شد. سپس رابطه رگرسیونی بین شیب و مساحت در هر منطقه برقرار شده و ضرایب a, b و عدد آستانه توپوگرافی محاسبه گردید. در مرحله دوم با استفاده از عملیات میدانی شیب واقع در بالای پیشانی هر آبکند با استفاده از شیب‌سنج تعیین، آستانه توپوگرافی محاسبه شد. با استفاده از رابطه توانی، نوع فرآیند غالب هیدرولوژیک بر گسترش آبکندها در هر اقلیم تعیین و با ضرایب منطقه‌ای تحقیقات انجام شده در خارج از کشور مقایسه شود.

نتایج

آبکندهای مورد تحقیق در منطقه فداغ دارای ارتفاع متوسط ۵۳۸ متر و در منطقه علامرودشت ۴۹۳ متر از سطح دریا می‌باشد. منطقه فداغ در اقلیم خشک بیابانی معتدل و منطقه علامرودشت در اقلیم خشک بیابانی واقع شده‌اند. آبکندهای منطقه فداغ با تراکم ۸/۹۳ و منطقه علامرودشت با تراکم ۹/۴ کیلومتر در کیلومتر مربع طبق طبقه‌بندی آبکندها، دارای درجه

جدول ۱. میانگین ویژگی‌های آبکندها شامل بیشینه، کمینه و حجم آن‌ها

میانگین آبکندهای فداغ	میانگین	عرض پایین		عرض بالا		عمق	حجم (مترمکعب)
		میانگین	حداکثر	میانگین	حداقل		
طول آبکند	میانگین	میانگین	حداکثر	میانگین	حداقل	میانگین	میانگین
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	
۱۰۰/۶۵	۴/۷۸	۰/۷۱۹	۶/۱۳	۱/۲۷	۲/۳۲	۰/۵۳	۶۰۵/۴۸
علامرودشت	۱/۲۹	۰/۳۲	۲/۱۳	۰/۶۱	۱/۲۹	۰/۳۹	۸۶/۸۷

جدول ۲. مقدار خاک لخت در مقایسه با پوشش گیاهی و سنگریزه در بالادست پیشانی آبکندها

منطقه مورد مطالعه	متوسط درصد خاک لخت	متوسط درصد سنگریزه سطحی	متوسط درصد پوشش گیاهی
علامرودشت	۹۴/۹۷	۱/۴۳	۳/۶
فداغ	۹۴/۸	۱/۲	۴

جدول ۳. مساحت سازندهای زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه در فداغ و علامرودشت

مناطق مورد مطالعه	مساحت (Km ²)	مساحت سازند زمین‌شناسی (Km ²)				
		آبرفت دوره چهارم	آغا جاری	بختیاری	میشان	گچساران آسماری
فداغ	۴۳۰/۲۵	۱۸۶/۷۷	۱۳۳/۶۷	۱۶/۳۱	۲۷/۸۹	۴۲/۳۸
منطقه آبکندی	۳۸/۱۳	۳۵/۸۲۲	۲/۳۰۸	-	-	-
منطقه آبکندی	۲۸۵/۸۲	۲۸۰/۲۰	-	۵/۶	-	-
علامرودشت	۱۷۶/۴۳	۱۷۲/۳۷	-	۴/۰۶	-	-

درختان جنگل، تغییر در کاربری اراضی، راه‌سازی و عدم رعایت اصول صحیح در این زمینه و به دنبال آن رشد سطوح غیر قابل نفوذ و فاقد پوشش گیاهی و به طور کلی تخریب اکوسیستم طبیعی، جریانات سطحی افزایش یافته و در نتیجه فرسایش آبکندی افزایش می‌یابد. بنابراین راهکارهایی چون استفاده صحیح از اراضی و متناسب با پتانسیل آنها، حفظ پوشش گیاهی، جنگل و درختچه‌زارها و بیشه‌زارهای طبیعی، مدیریت مناسب مراتع و قرق آنها و رعایت کردن اصول صحیح جاده‌سازی به کاهش نرخ فرسایش آبکندی کمک

جدول ۳ مساحت سازندهای زمین‌شناسی را در مناطق فداغ و علامرودشت نشان می‌دهد. منطقه آبکندی فداغ با وجود سطح زیر کشت کمتر و مساحت کمتر نسبت به منطقه آبکندی علامرودشت، حجم بیشتری از فرسایش آبکندی را به خود اختصاص داده است که یکی از دلایل عمده این تفاوت، سطح کمتر مراتع، درختچه‌زارها و جنگل‌های طبیعی و افزایش طول راه در این منطقه نسبت به منطقه علامرودشت می‌باشد. این نتایج نشانگر این واقعیت است که به موازات اقدامات غیر طبیعی انسان مانند چرای بی‌رویه، تخریب پوشش گیاهی و قطع

جدول ۴. مساحت کاربری اراضی در حوزه آبخیز منطقه آبکندی فداغ

نوع و مساحت کاربری اراضی km ²					منطقه مورد مطالعه
اراضی مرتعی	اراضی باغی	اراضی زراعی دیم	اراضی زراعی آبی	اراضی بایر و لخت	
۴/۵۸	۳۵/۲۱	۱۳/۲۴	-	۳۷۷/۲۱	فداغ
۰/۰۱	۰	۵۹/۹۷	۱۲/۲۰	۲۰۵/۲۵	علامرودشت

آستانه توپوگرافی برای آبکندهای مناطق فداغ و علامرودشت

برای تعیین آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی لگاریتم مساحت حوضه آبکنند در برابر لگاریتم شیب محل آبکنند نشانه‌گذاری گردیده و رابطه خطی به آنها برآزش می‌شود. استفاده از داده‌های لگاریتمی به منظور برآزش آسان‌تر خط آستانه و بررسی آسان‌تر انجام شده است. به خط برآزش شده به داده‌ها خط آستانه میانگین در مرز پایین داده‌ها کشیده می‌شود. پس از برآزش خط آستانه میانگین خطی موازی با خط آستانه میانگین در مرز پایین داده‌ها کشیده می‌شود. به این خط، خط آستانه پایین توپوگرافی فرسایش آبکندی می‌گویند.

نقطه‌هایی که در بالای این خط قرار دارند، در معرض خطر فرسایش آبکندی هستند. رابطه‌های خط آستانه میانگین و آستانه پایین در واقع تنها از نظر عرض از مبدا با یکدیگر تفاوت دارند. با گرفتن آنتی‌لوگ از رابطه‌های خطی به دست آمده رابطه‌های توانی و ضریب‌های مربوطه به دست خواهد آمد. رابطه خط آستانه پایین را می‌توان از فرم $S=aA^b$ به صورت $t=SA^{-b}$ نوشت که در آن t در حقیقت همان ضریب a در رابطه توانی خط آستانه پایین می‌باشد که برای منطقه‌ای ویژه مقداری ثابت دارد. رابطه خط آستانه نشان می‌دهد که به ازای یک مساحت حوضه بالادست ویژه چه مقدار شیب محلی لازم است تا فرسایش آبکندی صورت پذیرد. بنابر گفته‌های بالا جاهایی در معرض خطر فرسایش آبکندی است که رابطه $t < SA^{-b}$ در آنجا برقرار باشد. آستانه توپوگرافی در فرسایش آبکندی به صورت رابطه $S=aA^b$ بین مساحت و شیب بالای خروجی و یا پیشانی آبکندها برقرار است که S شیب و A

می‌کند. بنابراین هر چه اراضی متروکه و لخت رها شوند و بر طول جاده‌ها افزوده گردد بر مساحت آبکندها افزوده خواهد شد. از نظر مساحت اراضی لخت و بایر فداغ با ۳۷۷/۲۱ کیلومترمربع و طول جاده معادل ۲۸/۲ کیلومتر بیشترین مقدار را نسبت به منطقه علامرودشت داشته است. با توجه به وضعیت کاربری اراضی (جدول ۴)، مناطق آبکندی فداغ و علامرودشت اغلب در اراضی بایر واقع شده‌اند، به علاوه اندازه‌گیری سطح آبخیز بالای آبکندها که دارای پوشش گیاهی کمتر از ۱۰ درصد (۴ درصد)، استعداد تبدیل باران به جریان سطحی وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد هر چه طول جاده بیشتر باشد حجم آبکندها بیشتر خواهد شد.

بافت خاک هر دو منطقه لومی سیلتی می‌باشد. آزمایش‌های خاک و دانه‌بندی ذرات خاک در آبخیز آبکندهای فداغ و علامرودشت نشان می‌دهد که درصد متوسط رس، سیلت و شن به ترتیب معادل ۲۳/۳۱، ۵۳/۰۳، ۲۳/۶۶ در منطقه فداغ و ۲۳/۶۴، ۶۱/۶۹، ۱۴/۶۷ در منطقه علامرودشت است. طبق نظر ریشتر و نگنداک ۱۹۷۷، خاک مناطق مورد تحقیق دارای فرسایش شدید آبکندی است (۱۴). جداول ۵ و ۶ برخی از نتایج آماری متغیرها را در دو منطقه فداغ و علامرودشت نشان می‌دهد.

مورگان و نومزولو، در تحقیق خود عوامل مؤثر بر آستانه توپوگرافی و رابطه مساحت بالادست و شیب را کاربری اراضی، نوع خاک، سازند زمین‌شناسی و رژیم بارندگی دانستند. به علاوه هر نوع تغییر در کاربری اراضی، که سبب کاهش مقاومت سطحی خاک و تولید بیوماس گردد می‌تواند باعث کاهش آستانه توپوگرافی ناشی از فرسایش آبکندی شود (۱۰).

جدول ۵. نتایج شاخص آماری متغیرها در منطقه فداغ

متغیرها	حداقل	حداکثر	میانگین
میزان رسوب تولیدی (m3)	۱۷/۰۳	۵۶۶۶/۰۵	۶۰۵/۴۷
درصد پوشش گیاهی	۰	۲۷	۴
درصد خاک لخت	۷۳	۹۹	۹۴/۸
درصد سنگ ریزه سطحی	۰	۵	۱/۲
درصد شیب (بالای آبکند)	۳۴	۱۰۰	۵۴
درصد شیب (خروجی آبکند)	۱	۵	۲
درصد شیب (پیشانی آبکند)	۱	۸	۳
درصد رس	۱۰	۳۵/۲	۲۳/۳۱
درصد سیلت	۳۳/۱	۶۳	۵۳/۰۳
درصد شن	۹	۵۱/۲	۲۳/۵۶
EC (ds/m)	۵/۷۷	۶۱/۱	۱۹/۳۳
pH	۷/۱۶	۸/۴۵	۷/۶۱
OC	۰/۰۳۴	۰/۵۲	۰/۲۰
OM	۰/۰۶	۰/۸۹	۰/۳۵
K	۰/۵۷	۳/۶۵	۱/۶۰
Na	۲۳	۲۵۶	۸۵/۴۱
Ca+Mg	۴۶	۱۱۹	۸۸/۲۶
طول	۴۴	۲۴۷	۱۰۰/۶۵
مساحت پیشانی (m2)	۹۶/۷۷	۱۳۶۶/۳۴	۳۹۴/۶۷
مساحت خروجی (m2)	۶۹۶/۷۷	۶۶۵۵/۱۲	۱۹۲۷/۹۰
طول جاده (km)			۲۸/۲
کاربری اراضی	اراضی بایر و لخت، اراضی زراعی دیم، اراضی باغی، اراضی مرتعی		
فرآیند هیدرولوژیکی	سطحی		

جدول ۶. نتایج شاخص آماری متغیرها در منطقه علامردشت

متغیرها	حداقل	حداکثر	میانگین
میزان رسوب تولیدی (m3)	۵/۴	۸۳۶/۶۱	۸۶/۷۸
درصد پوشش گیاهی	۰	۱۸	۳/۶
درصد خاک لخت	۸۲	۱۰۰	۹۴/۹۷
درصد سنگریزه سطحی	۰	۷	۱/۴۳
درصد شیب (بالای آبکند)	۸	۵۰	۲۶
درصد شیب (خروجی آبکند)	۱	۳	۲
درصد شیب (پیشانی آبکند)	۱	۴	۲
درصد رس	۱۷/۲	۳۸/۸	۲۳/۶۳
درصد سیلت	۴۶/۸	۷۲	۶۱/۶۹
درصد شن	۸/۸	۳۰/۶	۱۴/۶۶
EC (ds/m)	۴/۴۵	۹۰/۲	۳۰/۱۷
pH	۶/۶۱	۷/۹۵	۷/۲۲
OC	۰/۲۳	۱/۲	۰/۶۰
OM	۰/۳۹	۲/۰۶	۱/۰۴
K	۰/۶۵	۷/۷	۳/۹۳
Na	۳۶/۶	۶۶۱	۳۲۹/۷۵
Ca+Mg	۴۰	۱۹۲	۱۲۵/۳۳
طول	۱۳/۶۷	۱۳۱/۴	۴۷/۷۰
مساحت پیشانی (m2)	۸/۰۳	۳۳۸/۴۷	۶۴/۳۲
مساحت خروجی (m2)	۴۱/۳۶	۲۰۲۵/۸۶	۳۰۳/۲۸
طول جاده (km)			۱۹/۱
کاربری اراضی	اراضی بایر و لخت، اراضی زراعی آبی، اراضی زراعی دیم، اراضی مرتعی		
فرآیند هیدرولوژیکی	سطحی		

نمای b مبین رواناب سطحی و علامت مثبت نما معرف رواناب زیرسطحی است. نمای b در آبکندهای فداغ و علامردشت دارای علامت منفی بوده که بیانگر غالب بودن فرآیند رواناب سطحی در ایجاد و گسترش آبکندها است (جدول ۷). به عبارت دیگر مقادیر بسیار کوچک ضریب b نشان می‌دهد

مساحت آبکند در بالای نقطه ایجاد و یا پیشانی آبکند و a و b ضرایب محیطی هستند. اگر بین شیب و مساحت آبکند رابطه مستقیم برقرار باشد فرآیند غالب مربوط به فرآیند زیرسطحی و در صورت وجود رابطه معکوس بین این دو پارامتر، فرآیند غالب مربوط به جریان سطحی می‌باشد. در واقع علامت منفی

جدول ۷. ضرایب رابطه توانی آستانه توپوگرافی با استفاده از عملیات میدانی

میدان	b	نمای رابطه	R ²
توان پیشانی منطقه فداغ	۰/۱۵	منفی	۰/۲۶
توان پیشانی منطقه علامرودشت	۰/۰۶	منفی	۰/۰۰۶

شیب، نقش مؤثری در ایجاد آبکندها نداشته و به نظر می‌رسد تخریب پوشش گیاهی و کاربری نادرست اراضی نقش بیشتری در گسترش آبکندها دارند، به علاوه روابط آبکندهای عمیق واقع در منطقه فداغ $s = 0.0192x^{-0.15}$ و در علامرودشت $s = 0.0143x^{-0.06}$ می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵).

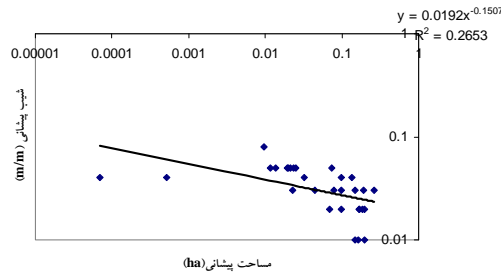
همان‌طور که دیده می‌شود آستانه‌های توپوگرافی فرسایش آبکندی به دست آمده در این پژوهش (دو منطقه فداغ و علامرودشت) پایین‌تر از آستانه‌های به دست آمده توسط پژوهشگران یاد شده می‌باشد. این روند می‌تواند تفاوت در پوشش گیاهی حوضه بالادست باشد چنانکه در تعدادی از پژوهش‌های یاد شده پوشش جنگلی و مرتعی خوب به چشم می‌خورد. تفاوت در نوع خاک می‌تواند دلیل دیگری برای پایین بودن آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی در منطقه پژوهشی ما باشد. در پژوهش‌های انجام شده در اسپانیا و پرتغال رخنمونی سنگ و افق تجمع رس در عمق کم خاک در منطقه مورد مطالعه دیده شده است. در کمربند لسی بلژیک نیز افق تجمع رس دیده می‌شود در حالی که این شرایط در منطقه مورد مطالعه این پژوهش کمتر به چشم می‌خورد. تفاوت در آب و هوا نیز می‌تواند برای این روند مؤثر باشد. چنان که دیده می‌شود نزدیک‌ترین آستانه‌های به دست آمده در اروپا به آستانه‌های این پژوهش (مناطق فداغ و علامرودشت)، در اسپانیا و پرتغال دیده می‌شود که دارای شرایط آب و هوایی نیمه خشک و نزدیک به شرایط آب و هوایی مناطق مورد مطالعه در این پژوهش دارد. آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی به دست آمده توسط پژوهشگران دیگر مانند وانوالهایم و همکاران، در بلژیک برای آبکندهای عمیق و کم عمق به ترتیب ۰/۵۷۸ و ۰/۰۲ بوده است (۱۸). آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی در جنوب

اسپانیا ۰/۱۵۷ و در شمال پرتغال ۰/۱۰۲ به دست آمده است (۱۶). پوزن و واندرکوف، در مطالعه‌ای نشان دادند که سطح آستانه توپوگرافی در مجموع تابعی از شرایط محیطی مانند نوع خاک، کاربری زمین و اقلیم منطقه است (۱۷). ایشان توان b را در پرتغال ۰/۲۶۶- و در اسپانیا ۰/۱۳۳- و آستانه توپوگرافی را برای پرتغال ۰/۱۰۲ و برای اسپانیا ۰/۱۵۷ به دست آوردند و عنوان کرد که آستانه توپوگرافی (t) در بلژیک، فرانسه و انگلیس بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۹ به دست آمده است.

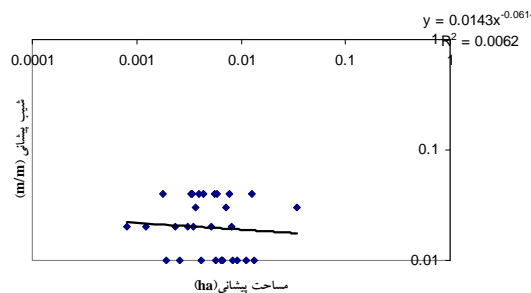
بررسی تحقیقات انجام شده در اروپا نشان می‌دهد که نمای b در بسیاری از تحقیقات منفی بوده به عبارت دیگر نشانگر تأثیر رواناب سطحی در مناطق لسی و آبرفتی بلژیک است در حالی که این نما با اختصاص علامت منفی در آبرفت‌های دوره چهارم بیانگر غالب بودن فرآیند رواناب سطحی در ایجاد و گسترش آبکندهاست مورگان، ضریب همبستگی رابطه آستانه توپوگرافی را در پیشانی آبکندهای سویزلند بین ۰/۰۷۲ تا ۰/۴۹۶ به دست آورد در صورتی که در این پژوهش مقدار ضریب همبستگی در مناطق فداغ و علامرودشت به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۱۳ است (۱۰).

آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی به دست آمده توسط محققان دیگر در مناطق مختلف جهان به صورت زیر است: دسمت و پوزن، بین ۲/۸ تا ۶/۳، وانوالهایم و همکاران (۱۶)، در بلژیک برای آبکندهای عمیق ۵/۷۸ و برای آبکندهای کم عمق ۲، به علاوه این آستانه برای فرانسه، انگلیس و بلژیک بین ۶ تا ۹، جنوب اسپانیا ۱/۵۷ و شمال پرتغال ۱/۰۲ می‌باشد.

پژوهش‌های مختلف آستانه توپوگرافی در منطقه‌های مختلف دنیا در شکل ۶ برگرفته از تحقیق پوزن و همکاران، (۱۲) ارائه شده است. در این نمودار خط‌های نقطه‌چین نشان‌دهنده



شکل ۴. مساحت پیشانی و شیب پیشانی کل منطقه فداغ



شکل ۵. مساحت پیشانی و شیب پیشانی کل منطقه علامرودشت

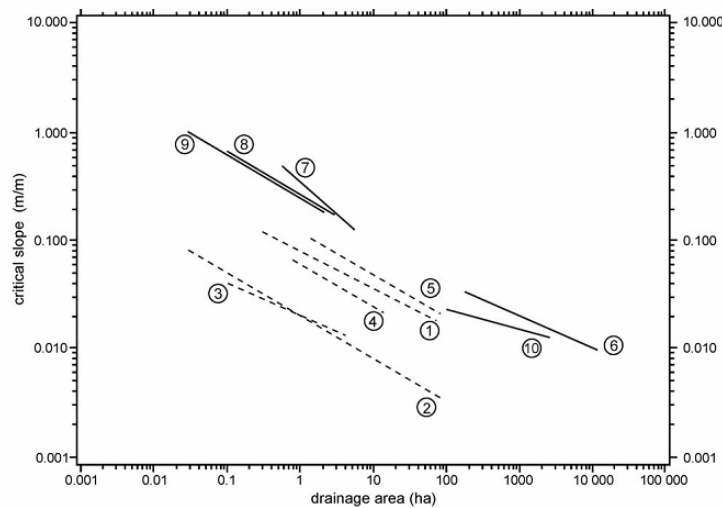
عدد کمتری را نشان می‌دهد زیرا با کاهش مقدار شیب مقدار مساحت متأثر از رواناب افزایش می‌یابد و بلعکس. ویژگی‌های شکل حوزه بیشترین تأثیر را بر رابطه آستانه توپوگرافی آبکند در مناطق مورد مطالعه داشته، سپس پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاک بیشترین تأثیر را داشته‌اند. در رابطه آستانه گسترش آبکند، پارامترهای ابعادی آبکند به‌ویژه عمق و نسبت عرض به عمق نقش بارز خود را نشان دادند. افزایش ماده‌آلی و افزایش عمق آبکندها، افزایش نسبی آستانه توپوگرافی را به دنبال داشته است. پارامتر اسیدیته خاک، کمترین اثر را بر رابطه آستانه داشته و تقریباً می‌توان گفت که بی‌اثر بوده است. در مناطقی که جریان سطحی فرآیند غالب در گسترش فرسایش آبکندی است، گردتر شدن حوزه بالادست سبب کاهش آستانه توپوگرافی و کشیده‌تر شدن حوزه سبب افزایش آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی گردیده است. این روند در مناطق با فرآیند غالب جریان زیرسطحی، معمولاً عکس می‌باشد. بالا رفتن درصد سیلت معمولاً سبب کاهش آستانه توپوگرافی و افزایش درصد رس،

کاربری زمین کشاورزی و خط‌های پر نشان دهنده کاربری جنگل، بوته‌زار و درخت‌زار می‌باشد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود آستانه توپوگرافی در کاربری‌های کشاورزی پایین‌تر می‌باشد.

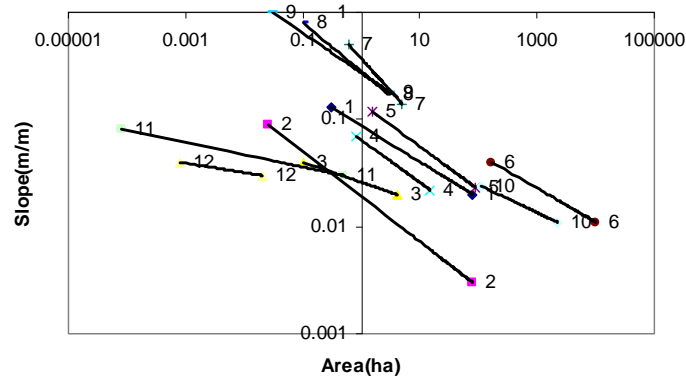
در شکل ۷ خط شماره ۱۱ مربوط به خط آستانه توپوگرافی (داده‌های دسته‌بندی شده پیشانی) منطقه فداغ و خط ۱۲ مربوط به خط آستانه توپوگرافی (داده‌های دسته‌بندی شده پیشانی) مربوط به منطقه علامرودشت می‌باشد که موقعیت این دو منطقه مطالعاتی را روی نمودار بالا نشان می‌دهد.

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد، رابطه توانی در مناطق مورد مطالعه برقرار بوده و نمای این رابطه در هر دو منطقه منفی می‌باشد که نشان دهنده رواناب سطحی است. نمای روابط و عدد آستانه توپوگرافی در این مناطق نسبت به سایر منطقه‌ها



شکل ۶. مقایسه خط‌های آستانه توپوگرافی در مناطق مختلف، نمودار ۱: مرکز بلژیک مطالعه میدانی (پوزن داده‌های انتشار نشده) ۲: مرکز بلژیک (تحلیل عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی) (واندل و همکاران ۱۹۹۶) ۳: پرتغال (تحلیل عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی) (واندل و همکاران ۱۹۹۶) ۴: فرانسه (تحلیل عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی) (واندل و همکاران ۱۹۹۶) ۵: جنوب بریتانیا (مطالعه صحرائی بودرمن) ۶: کلرادو آمریکا (کاربری بوته‌زار و درخت‌های پراکنده) (تحلیلی عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی) (پاتون و چاوم ۱۹۷۵) ۷: نوادای آمریکا (کاربری جنگل بلوط و چمنزار) (مطالعه میدانی) (مونت گومری و دیتریخ ۱۹۸۸) ۸: کالیفرنیا آمریکا (کاربری چمنزار ساحلی) (مطالعه میدانی) (مونت گومری و دیتریخ ۱۹۸۸) ۹: اورگون آمریکا (کاربری جنگل قطع شده) (مطالعه میدانی) (مونت گومری و دیتریخ، ۱۹۸۸) ۱۰: نیوساوت ولز استرالیا (نی‌زارهای باتلاقی کف دره‌ها) (مطالعه میدانی) (نیسون و ارسکین ۱۹۸۸).



شکل ۷. نمودار رابطه آستانه توپوگرافی پیشانی آبکندهای دسته‌بندی شده در مقایسه با خط‌های آستانه در نقاط مختلف جهان (منحنی ارائه شده توسط پوزن)

استقرار پوشش گیاهی با سیستم ریشه‌های عمیق، به حذف رواناب زیرسطحی پرداخته و از گسترش آبکندها جلوگیری نماییم. با توجه به یافته‌های این تحقیق، می‌توان برای مبارزه با آبکند می‌توان بیان داشت، در مناطقی مانند علامرودشت و فداغ، که جریان سطحی در گسترش آبکند نقش دارد، تخلیه

سبب افزایش آستانه شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش نسبت جذب سديم و لخت و بدون پوشش ماندن زمین، سبب کاهش آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی شده است. به نظر می‌رسد در مناطق آبکندی مورد تحقیق، رواناب زیرسطحی نقش مؤثری در ایجاد آبکندها داشته باشد، بدین منظور باید با

نمود تا با وارد کردن مقدار کمتری از رواناب سطحی از گسترش طولی آبکندها کاست. با توجه به تولید زیاد رواناب سطحی در بالادست آبکندها می‌توان با احداث بندهای خاکی به ارتفاع یک متر در انتهای آبکندها، رواناب سطحی را جمع‌آوری نمود تا بدین وسیله استقرار پوشش گیاهی در اطراف آبکندها به سهولت بیشتری امکان‌پذیر باشد در پایان بیان این نکته ضروری به نظر می‌رسد که بایستی تحقیقات بیشتری روی جریان هیدرولوژی دامنه‌های دارای آبکند و مکانیسم ایجاد و گسترش آنها از نظر ایجاد پدیده انحلال و راه‌های کنترل در آینده صورت گیرد.

سریع و مطمئن جریان به‌وسیله زهکشی یا استقرار پوشش گیاهی با ریشه‌های عمیق، می‌تواند در کنترل آبکند کمک نماید. به علاوه احیای پوشش گیاهی با افزایش زبری سطح و افزایش ماده‌آلی خاک، در کنترل و کاهش خطر فرسایش آبکندی، مؤثر می‌باشد. هم‌چنین اصلاح خاک‌های شور و سدیمی به کمک اصلاح‌کننده‌ها، اقدام مؤثری در کنترل آبکند و کاهش خطر فرسایش آبکندی می‌نماید. به منظور کاهش گسترش آبکندها می‌توان با استقرار پوشش گیاهی به کاهش سطوح لخت فاقد پوشش پرداخت تا میزان رواناب سطحی را کاهش داد و در کوتاه مدت به کاهش سطح حوزه آبخیز واقع در بالا دست آبکندها از طریق بانکت‌بندی اقدام

منابع مورد استفاده

۱. دهقانی، م.، م. صوفی و م. کمپامی زارع. ۱۳۸۷. تعیین آستانه توپوگرافی در فرسایش آبکندی، مطالعه موردی چند منطقه در استان فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۹۹ ص.
۲. رحمانی، م.، س. مصباح، ح. حسینی مرندی و و. نجفی نژاد. ۱۳۸۸. بررسی افت آب زیرزمینی بر ایجاد خندق در دشت نیریز فارس، پنجمین همایش آبخیزداری، اردیبهشت ۸۸، گرگان؛ ۹ ص.
۳. صوفی، م. ۱۳۸۳. بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی خندق‌های استان فارس، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، شماره ثبت ۸۳/۱۱۵۳، ۱۳۳ ص.
۴. صوفی، م. ۱۳۸۳. فرآیند ایجاد خندق و نرخ رشد آن در لامرد و علامرودشت. طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت آب و خاک، ۹۹ ص.
۵. مهندسی مشاور حاسب کرجی. ۱۳۸۶. مطالعات اجرایی طرح مدیریت مناطق بیابانی علامرودشت لامرد. جلد اول مطالعات پایه، اداره کل منابع طبیعی استان فارس، اداره امور بیابان ۱۳۴ ص.
۶. نیک‌نام، م.، م. صوفی، م. ظریف کار، ا. محمدی و ز. ابولوردی. ۱۳۸۸. بررسی دقت روش‌های مختلف میدانی در برآورد حجم فرسایش آبکندی. پنجمین همایش آبخیزداری، اردیبهشت ۸۸، گرگان؛ ۵ ص.
7. Dunne, T. 2005. Formation and controls of channel network. *Progress in Phys. Geograph.* 4: 211-239.
8. Dietrich, W. E., C. J. Wilson, D. R. Montgomery and J. McKean. 1994. Analysis of erosion thresholds, channel network, and landscape morphology using a digital terrain model. *J. Geol.* 101: 141-152.
9. Hessel, R. and T. Asch. 2003. Modelling gully erosion for a small catchment on the Chinese Loess Plateau. *Catena* 54: 131-146.
10. Morgan, R.P.C., D. Mnomezulu. 2003. Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in middle veld of Swaziland. *Catena* 50:401-414.
11. Niknam, M. and M. Soufi. 2009. Accuracy Assessment for different field methods of estimating gully erosion. International conference Land conservation. Tara Mountain/Serbia: 121.130.
12. Poesen, J., J. Nachtergaele, G. Verstraeten and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena* 50: 91-133.

13. Phillips, J.D. 2006. Evolutionary geomorphology: thresholds and nonlinearity in landform response to environmental change. *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss.* 3: 365-394.
14. Richter, G. and J.F.W. Negendank. 1977. Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. *Earth Surface Proc.* 2: 261-278.
15. Svoray, T. and H. Markovitch. 2009. Catchment scale analysis of the effect of topography, tillage direction and unpaved roads on ephemeral gully incision, Department of Geography and Environmental Development, Ben-Gurion University of the Negev, Israel. *Environ. Manage.* 59(5): 104-113.
16. Vandekerckhove, L. J. Poesen, D. Oostwoud Wijdenes and T.de Figueiredo. 1998. Topographical threshold for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean. *Catena* 33: 271-292.
17. Vandekerckhove, L., J. Poesen, D. Oostwoud Wijdenes, J. Nachtergaele, C. M. Kosmas, T.J. Roxd De Figueiredo. 2000. Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe. *Earth Surface Proc. land Forms* 25: 1201-1220.
18. Vandwalleghem, T., J. Poesen, J. Nachtergaele and G.Vesthraesten. 2005. characteristics, controlling factors and importance of deep gullies under cropland on loess-derived soils. *Geomorphology* 69: 76-91.