برآورد حجم فرسایش آبکندی با استفاده از ویژگی‌های مورفومتریک و خاک در آبکندهای استان گلستان

مجید صوفی[1]، استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس
حسین عیسائی، کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۷/۰۶ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۸/۱۲/۲۴

چکیده

فرسایش آبکندی، به‌دلیل تولید رسوب فراوان‌تر از فرسایش‌های پاشمانی و سطحی و معدود بودن تحقیقات درباره آن، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. برآورد حجم فرسایش آبکندی نیاز به شاخص‌هائی دارد که بتوانند به‌سهولت اندازه‌گیری شوند. این تحقیق در نظر دارد با ارائه مدل‌های ساده، فرسایش آبکندی را با حداقل هزینه برآورد نماید. در این تحقیق، پس از تشخیص و تعیین مناطق فرسایش آبکندی با استفاده از مدارک روایتی، تاریخی و انجام عملیات میدانی در استان گلستان، دو منطقه آبکندی در هر اقلیم با استفاده از روش دومارتن اصلاح شده تعیین و انتخاب گردید؛ سپس در هر منطقه، سه آبکند معرف، انتخاب و ویژگی‌های مورفومتریک آنان نظیر طول، عمق، عرض فوقانی و تحتانی و ویژگی‌های خاک، نظیر رس، سیلت و شن، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در پیشانی و مقاطع ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد طول آبکند از پیشانی نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شد؛ همچنین حجم فرسایش آبکندی از مجموع احجام جزئی در مقاطع ذکر شده، محاسبه گردید و حجم جزئی از ضرب طول بین دو مقطع عرضی در مساحت مقطع عرضی به‌دست آمد؛ سپس رابطه بین حجم فرسایش آبکندی به‌عنوان متغیر وابسته، با متغیرهای اندازه‌گیری شده به‌عنوان متغیرهای مستقل با استفاده از روش تجزیه و تحلیل همبستگی از طریق ایجاد روابط رگرسیون تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که آبکندهای استان گلستان، عمدتا در دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک و بر روی رسوبات لسی با چسبندگی ناچیز، دارای گسترش زیادی می‌باشند. آبکندها از نظر عرضی، گسترش بیش‌تری از عمق داشته و ذرات سیلت نقش مهمی در آن ایفاء می‌کنند. بررسی متغیرهای اندازه‌گیری شده بیان‌گر این واقعیت است که تولید رسوب در آبکندهای استان گلستان، بیش‌تر از کناره‌های آن‌ها است؛ از این‌رو، بایستی اولویت اقدامات کنترلی به کناره‌های آبکندها داده شود. تحلیل آماری نتایج به‌دست آمده نشان داد که رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۸۶ بر رابطه توانی با ضریب تبیین ۰/۵۴، از ارجحیت بیش‌تری برای برآورد حجم فرسایش آبکندی برخوردار است. همین نتایج بیان می‌کند که حجم آبکندهای این استان با متغیرهای طول، عمق و عرض فوقانی آبکند، دارای یک رابطه خطی معنی‌داری در سطح یک درصد است. در رابطه خطی، طول آبکند با تفسیر ۸۶ درصدی از تغییرات حجم آبکند و ضریب استاندارد (β_1 = ۰/۸۷۱) بیش‌ترین تاثیر را در بین سه متغیر بیان شده، نسبت به عمق (β_2 = ۰/۲۲۷) و عرض فوقانی (β_3 = ۰/۱۵۹)، در برآورد حجم فرسایش آبکندی در استان گلستان دارد. این نتایج تاییدکننده توصیه‌های ارائه شده در منابع، در استفاده از طول آبکند در برآورد رسوب ناشی از فرسایش آبکندی در مدل EGEM و کاربرد آن در این قسمت از ایران است.

واژه‌های کلیدی: آبکند معرف، پیشانی آبکند، دومارتن اصلاح شده، فرسایش پاشمانی، فرسایش سطحی

[1] soufi@farsagres.ir

Estimation of the volume of gully erosion using morphometric and soil characteristics in the gullies of Golestan province

Majid Soufi[1], Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Fars, Iran
Hossein Esaei, BSc, Agricultural and Natural Resources Research Center, Gholestan, Iran

Received: 27 September 2009 **Accepted**: 14 March 2010

Abstract

Gully erosion is more important than both rain splash and sheet erosions due to both higher sediment productions. Estimation of the volume of gully erosion requires some indices that could be measured easily in the field. This research aims to present simple models to estimate the volume of gully erosion with minimum cost. After determining influenced regions, using anecdotal, historical and field surveying, two regions in each modified Dumartin climate zone and region, three representative gullies were selected. Then, morphometric and edaphic characteristics such as length, depth, top and bottom width, clay, silt, sand, Ca, Na and Mg percentages of the gullies were measured both in their heads and cross sections in 25, 50 and 75% of their length from the headcut. The volume of gully erosion was calculated by the sum of partial volumes in each gully. The results revealed that gullies were initiated and developed in two arid and semi-arid climates on the loess sediment with little cohesion. Gully widening is higher than deepening and silt has an important role in it. Statistical analysis indicated that linear relationship with R^2 of 0.86 is more suitable than power relationship with R^2 of 0.54 for estimation of the volume of gully erosion. Results indicated that the volume of the gullies had a significant linear relationship with gully length, depth and top width in 0.01 level. Results also, revealed that gully length with 86% interpretation of changes in gullies volume and $\beta = 0.871$ had the most impact among the variables. These results prove that suggested comments in literature using gully length to sediment yield estimation in EGEM is applicable in the northeast of Iran.

Key words: Gully head, Modified Dumartin, Representative gully, Splash erosion, Sheet erosion

[1] soufi@farsagres.ir

مقدمه

فرسایش آبکندی، به‌دلیل تولید رسوب فراوان‌تر از فرسایش‌های پاشمانی و سطحی و معدود بودن تحقیقات انجام شده درباره آن از اهمیت خاصی برخوردار است (Poesen و همکاران ۱۹۹۸ و ۲۰۰۳). آبکند، یک کانال فرسایشی با عمق بزرگ‌تر از ۳۰ سانتی‌متر (SSSA، ۲۰۰۱) و یا یک کانال فرسایشی با سطح مقطع بزرگ‌تر از ۹۱۵ سانتی‌متر مربع است (Poesen و همکاران ۲۰۰۳). برای اولویت‌بندی مناطق آبکندی از نظر تولید رسوب و یا اقدامات کنترلی، نیاز به ارائه شاخص‌هائی است که رابطه مناسبی با حجم رسوب تولیدی از آبکندها داشته و به‌سهولت قابل اندازه‌گیری باشد. Schumm (۱۹۶۰) برای مقایسه شکل کانال‌های آب‌رفتی در رسوبات مختلف از شاخص شکل و نسبت عرض فوقانی کانال به عمق آن (W/D)، استفاده کرده است.

سازمان حفاظت خاک امریکا با استفاده از همین شاخص، به این نتیجه رسید که در خاک‌های چسبنده، عرض آبکندها حدود ۳ برابر عمق آن‌ها است (رابطه ۱)؛ درحالی‌که در خاک‌های غیرچسبنده این نسبت به حدود ۱/۷۵ می‌رسد (رابطه ۲). به‌عبارتی، این نتیجه دلالت بر این واقعیت دارد که آبکندها در خاک‌های دارای رس فراوان در لایه‌های فوقانی و تحتانی خود، تمایل بیش‌تری به تعریض دارند؛ لذا در اتخاذ تصمیم برای کاهش رسوب ناشی از فرسایش آبکندی، باید به اقدامات کنترلی در کناره‌های آبکندها توجه بیش‌تری داشت؛ زیرا به‌دلیل طول بیش‌تر کناره‌ها، حجم رسوب تولیدی در کناره‌های آبکند بسیار بیش‌تر از پیشانی آن است (USDA-SCS، ۱۹۶۶).

(۱) خاک چسبنده $D = 0.34$

(۲) خاک چسبنده $D = 0.57W$

یک رابطه معنی‌دار بین نسبت عرض‌فوقانی به عمق (F) و ذرات رسوبی کوچک‌تر از ۰/۰۷۴ میلی‌متر (M) توسط Ionita (۲۰۰۳)، به‌صورت زیر ارائه شده است.

$$F = 255M^{-1.08} \quad (۳)$$

Ionita (۲۰۰۳) از قول Radoane و همکاران (۱۹۹۰) با بررسی هشت آبکند ناپیوسته در مولداوی نتیجه گرفت که یک رابطه خطی (رابطه ۴) بین نسبت عرض فوقانی و عمق (W/D) و طول آبکند (L) وجود دارد.

$$W / D = 1.287 + 0.00199 L \qquad R^2 = 0.39 \quad (۴)$$

در تحقیقی Faulkner و همکاران (۲۰۰۰) اعلام داشته‌اند که تفاوت ژئوشیمی در مکان‌های مختلف آبکندها می‌تواند در تفسیر تفاوت مورفولوژی آبکندها مورد استفاده قرار گیرد. Vandekerckhove و همکاران (۲۰۰۰)، در تحقیق دیگری در لیسبون (واقع در جنوب شرق اسپانیا) نتیجه گرفتند که حجم رسوبات برداشته شده از آبکندها (V) رابطه مثبت مستقیمی با شاخص W/D (R^2 = ۰/۴۶۳ و P=۰/۰۰۰۴) و یک رابطه منفی با W/L دارد (۰/۵۳۶- = R^2 و P =۰/۰۰۰۱)؛ نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رسوبات تولیدی این آبکندها، بیش‌تر از کناره‌های آبکند برداشت شده است.

تعیین طول آبکند مهم‌تر از تعیین موقعیت آن‌ها است (Poesen و همکاران، ۱۹۹۸)؛ زیرا طول آبکند از جمله پارامترهایی است که در برخی از مدل‌های ریاضی، نظیر مدل (EGEM)، برای برآورد حجم فرسایش آبکندی به‌کار می‌رود. Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱ الف و ب) به این نتیجه رسیدند که طول آبکند، یک عامل کلیدی در تعیین حجم فرسایش آبکندی است؛ یعنی برآورد درست طول آبکند مهم‌تر از برآورد عرض و عمق آن است؛ این بدان دلیل است که مقادیر طول (بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ متر)، بسیار بزرگ‌تر از مقادیر عرض (بین ۰/۳ تا ۶ متر) و عمق (بین ۰/۳ تا ۳ متر) بوده است. تعدادی از محققین، نظیر Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱ الف و ب) و Capra و همکاران (۲۰۰۵) روابط مهمی بین حجم و طول آبکندها پیدا کردند. برخی دیگر از محققین معتقدند حجم فرسایش آبکندی می‌تواند فقط با استفاده از طول آن برآورد شود (Nachtergaele و همکاران ۲۰۰۱ الف). Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱ الف و ۲۰۰۲) رابطه‌ای بین طول و حجم آبکند در حدود ۸۰٪ از نمونه‌ها برقرار کردند؛ آن‌ها متوجه شدند که با استفاده از طول آبکند می‌توان برآوردهای نزدیک به واقعیت از حجم آبکند را به‌دست آورد؛ ضمناً در ۹۱٪ از موارد بررسی شده (آبکندهایی که با یک واقعه تشکیل شده بودند)، طول آبکند برآورد خوبی از حجم آن به‌دست

می‌دهد؛ همچنین با پیش‌بینی درست طول آبکند در ۳۵٪ موارد سطح مقطع به‌طور صحیح برآورد می‌شود؛ بر این اساس، آنان توانستند رابطه رگرسیونی زیر را برای محاسبه حجم آبکند (V) بر اساس طول (L) آن در پرتغال به‌صورت زیر ارائه نمایند (رابطه ۵): (Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱ب) در تحقیقات خود، مقادیر ۰/۰۵ و ۱/۲۷ را به‌ترتیب برای a و b به‌دست آوردند).

$$V = 0.05L^{1.27} \qquad (۵)$$

که در آن، V حجم آبکند (مترمکعب)، L، طول آبکند (متر)، و a و b ضریب و توان رابطه می‌باشند که در مطالعه‌ای در فلات لسی در کشور چین، مقادیر ۰/۱۸۳۹ و ۰/۲۳۸۵- را به‌ترتیب برای ضریب و توان معادله بالا ارائه نمودند. Capra و همکاران (۲۰۰۵) نیز در واسنجی مدل برآورد فرسایش آبکندی در سیسیل ایتالیا نتیجه گرفتند که مناسب‌ترین رابطه رگرسیونی بین حجم فرسایش آبکندی و طول آن به‌شکل زیر برقرار است.

$$V = 0.0082L^{1.416} \qquad R^2 = 0.64 \qquad (۶)$$

Zhang و همکاران (۲۰۰۷)، برای خاکهای سیاه واقع در شمال شرق چین، رابطه بین حجم و طول آبکند را به صورت زیر به‌دست آوردند.

$$V = 0.015L^{1.429} \qquad R^2 = 0.67 \qquad (۷)$$

در ایران نیز محققینی نظیر شهریور و همکاران (۱۳۷۸) و حیدری مورچه‌خورتی (۱۳۸۳) سعی در ایجاد روابط رگرسیونی برای برآورد حجم آبکند در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و کرمان نمودند. در تحقیق شهریور و همکاران (۱۳۷۸)، از عوامل خاکی و ویژگی‌های حوزه آبخیز، نظیر مساحت و شیب حوضه، دانه‌بندی ذرات و املاح موجود در خاک استفاده گردید. نتیجه این تحقیق نشان داد که حجم آبکند، تابع مساحت حوزه آبخیز و املاح موجود در خاک آبکند است. حیدری و همکاران (۱۳۸۳)، به‌منظور تعیین عوامل موثر بر گسترش و رشد طولی آبکندها، ۱۱ آبکند در سه منطقه از استان کرمان شامل بافت، راین و راور را مورد بررسی قرار دادند و عواملی نظیر مساحت آبخیز و شیب واقع در بالای پیشانی آبکند، باران متوسط سالانه و ویژگی‌های خاک، نظیر بافت، نفوذپذیری، املاح محلول و ویژگی-های مورفومتریک همراه با پیش‌روی طولی پیشانی آبکند را اندازه‌گیری کردند؛ سپس حجم فرسایش آبکندی ناشی از پیش‌روی طولی آبکند (در هر واقعه باران)، به‌عنوان عامل وابسته و عوامل اندازه‌گیری شده بالا، به مثابه عوامل مستقل با استفاده از رگرسیون چند متغیره بررسی شد؛ نتایج این تحقیق نشان داد که عواملی نظیر درصد رس (C)، حاصل‌ضرب مساحت و شیب آبخیز ($A \times S$) و عرض پایین آبکندهای منطقه (W) تاثیر معنی‌داری بر پیش‌روی آبکندها دارد؛ سایر عوامل با تاثیر کم‌تر، هدایت الکتریکی (Ec)، طول آبکند (L)، درصد سیلت (Si) و شن (Sa) می-باشند. رابطه (۸)، حجم ناشی از پیش‌روی کوتاه مدت آبکند با عوامل ذکر شده را نشان می‌دهد.

$$V = 0.18C^2 - 0.009(EC)^2 + 0.09L^2 + 0.004(Sa)^2 + 4.01(SinA \times S) + 0.69W^2 - 0.03(Si)^2 - 34.46 \qquad (۸)$$

در تحقیقی Ghaffari (۱۹۹۸) فرسایش آبکندی در شهرکرد را با استفاده از عکسهای‌هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در دو فاصله زمانی ۱۹۶۷ و ۱۹۹۷ برای مدت ۳۰ سال مقایسه و سعی کرد تا میزان رسوب‌دهی را با ویژگی‌هایی از زیرحوضه مربوطه، مانند پوشش‌گیاهی، خاک و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه ربط دهد؛ وی در این تحقیق از مدل[1] (EGEE) استفاده کرد و نتیجه متوسطی از کاربرد این مدل به‌دست آورد.

مواد و روش‌ها

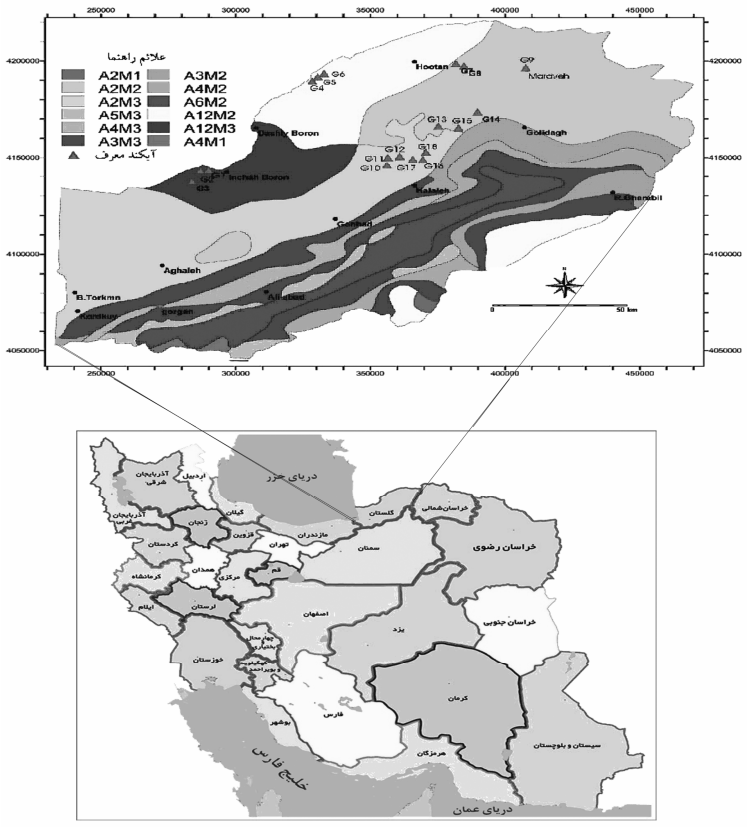
در این تحقیق، ابتدا نام مناطق آبکندی استان گلستان (شکل ۱) با استفاده از اطلاعات روایتی (اطلاعات کارشناسان بخش اجرا و تحقیقات آبخیزداری و سکنه محلی) مشخص و موقعیت ابتدائی آن‌ها بر روی مدارک تاریخی، نظیر نقشه‌های توپوگرافی تعیین گردید؛ سپس با بررسی عکس‌های هوائی و تصاویر ماهواره‌ای، مناطقی که دارای آبکندهای مشخصی بودند، علامت زده شد و مختصات آن‌ها از روی نقشه‌های توپوگرافی ثبت شد. در بازدیدهای

[1] Ephemeral Gully Erosion Equation

میدانی از مناطق اولیه تعیین شده به‌عنوان مناطق آبکندی و با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، موقعیت دقیق آبکندهای مشخص شده مورد بررسی و ثبت قرار گرفت. برای این تحقیق، مناطقی به‌عنوان فرسایش آبکندی انتخاب شدند که مساحتی معادل یا بالغ بر ۵۰۰ هکتار را شامل می‌شدند تا با ابعاد یک سانتی‌متر مربع بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰، قابل نمایش باشند.

اقلیم مناطق آبکندی با استفاده از روش دومارتن اصلاح شده، معین گردید (جدول ۱) و سپس از هر اقلیم، دو منطقه آبکندی انتخاب و در هر منطقه آبکندی، سه آبکند برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتریک و تکمیل پرسش‌نامه انتخاب شدند. در این بررسی تلاش شد آبکندهای منتخب در منطقه مورد تحقیق، از نظر ویژگی‌هائی نظیر طول، عرض، عمق، پلان عمومی و پیشانی و کاربری آن بخش زیادی از آبکندهای منطقه را در بر گیرد. هر آبکند منتخب در هر منطقه، به پیشانی و مقاطع عرضی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد طول از پیشانی برای اندازه‌گیری عرض‌فوقانی و تحتانی، عمق و برداشت نمونه‌های خاک تقسیم شد و با استفاده از دوربین، پلان عمومی و پیشانی آن‌ها نقشه‌برداری انجام شد و با استفاده از نرم‌افزار Autocad، ترسیم گردید.

از لایه‌های مختلف خاک در مقاطع عرضی، آبکندهای منتخب نمونه‌ها برداشت و در آزمایشگاه، عواملی نظیر دانه-بندی، اسیدیته، هدایت‌الکتریکی، سدیم، منیزیم و کلسیم اندازه‌گیری و نسبت جذب سدیم توسط رابطه مربوطه محاسبه گردید؛ همچنین حجم متوسط فرسایش آبکندی در مقاطع مختلف از ضریب متوسط مساحت دو مقطع عرضی در طول بین آن دو محاسبه و مساحت هر مقطع عرضی، از ضرب عمق آن در میانگین عرض فوقانی و تحتانی همان مقطع حاصل شد. برای تعیین عوامل موثر بر حجم فرسایش آبکندی، از روش رگرسیون گام به گام در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. حجم فرسایش آبکندی به‌عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های مورفومتریک و خاک آبکندها (جداول ۱ و ۲)، به‌عنوان متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۱- موقعیت آبکندها و نوع اقلیم در استان گلستان

جدول ۱- اقلیم‌های استان گلستان به‌روش دومارتن اصلاح شده

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶
اقلیم	نیمه خشک فراسرد	نیمه خشک سرد	نیمه خشک معتدل	مرطوب معتدل	نیمه مرطوب معتدل	مدیترانه‌ای معتدل
علامت اختصاری	A2M1	A2M2	A2M3	A5M3	A4M3	A3M3
ردیف	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
اقلیم	مدیترانه‌ای سرد	نیمه مرطوب سرد	خیلی مرطوب سرد	خشک بیابانی سرد	خشک بیابانی معتدل	نیمه مرطوب فراسرد
علامت اختصاری	A3M2	A4M2	A6M2	A12M2	A12M3	A4M1

نتایج و بحث

از شش حوزه آبخیز موجود در استان گلستان، فقط دو آبخیز اترک و گرگان‌رود دارای فرسایش آبکندی‌اند. آبکندهای استان گلستان با مساحتی بالغ بر ۶۰۰۰۰ هکتار، عمدتا در چهار اقلیم خشک بیابانی معتدل (A12M3)، خشک بیابانی سرد (A12M2)، نیمه خشک سرد (A2M2) و نیمه خشک معتدل (A2M3) ایجاد شده‌اند (جدول ۲). دامنه تغییرات بارش متوسط سالانه در مناطق آبکندی استان گلستان، بین ۲۰۰ تا ۴۷۱ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۲- ویژگی‌های مورفومتریک و حجم فرسایش آبکندی در آبکندهای معرف استان گلستان

ردیف	منطقه آبکندی	اقلیم	فرسایش (m^3)	طول آبکند (m)	عمق ٪۵۰ (m)	عرض بالایی ٪۵۰ (m)	عرض پایین ٪۵۰ (m)
۱	آلاگل	خشک بیابانی معتدل	۲۶۵/۱	۱۰۰	۰/۷	۵/۲	۲/۶
۲	آلاگل	خشک بیابانی معتدل	۱۳۳	۶۰	۱/۱	۳/۷	۱
۳	آلاگل	خشک بیابانی معتدل	۶۵۲/۹	۱۵۰	۱/۳	۷/۲	۲
۴	دماغ	خشک بیابانی سرد	۴۲۶۹/۵	۱۵۰	۴/۲	۲۱	۵
۵	دماغ	خشک بیابانی سرد	۵۹۹۳/۵	۱۵۰	۷	۱۲	۱/۳
۶	دماغ	خشک بیابانی سرد	۴۷۱۸/۹۲	۱۸۰	۵	۸/۴	۲/۱۵
۷	مراوه‌تپه	نیمه خشک سرد	۳۳۴۲۵/۵۶	۱۱۰۰	۲/۶	۲۳/۱	۷/۷
۸	مراوه‌تپه	نیمه خشک سرد	۱۲۱۲۵	۴۰۰	۵/۱	۲۱/۴	۲/۳
۹	مراوه‌تپه	نیمه خشک سرد	۱۵۳۴/۵	۱۵۰	۳/۴	۵	۲/۱
۱۰	عرب قره‌حاجی	نیمه خشک سرد	۸۶۵۳/۵	۱۲۰	۹/۵	۲۷/۵	۳/۵
۱۱	عرب قره‌حاجی	نیمه خشک سرد	۶۰۱۶/۸	۱۶۰	۵/۱	۱۰/۱	۲
۱۲	عرب قره‌حاجی	نیمه خشک سرد	۳۱۸۵/۳	۱۰۰	۵/۱	۱۱	۲/۲
۱۳	حاجی قوشان	نیمه خشک معتدل	۱۹۰۸/۹۶	۸۸/۵	۴/۶	۹/۱	۱/۵
۱۴	حاجی قوشان	نیمه خشک معتدل	۱۵۱۰/۵	۷۱	۴/۷	۹/۹	۱/۲
۱۵	حاجی قوشان	نیمه خشک معتدل	۳۱۹۹/۸	۱۶۰	۳/۹	۱۰/۴	۳
۱۶	تمرقره‌قوزی	نیمه خشک معتدل	۱۳۹۷/۳	۵۲/۵	۵/۵	۷/۴	۲/۴
۱۷	تمرقره‌قوزی	نیمه خشک معتدل	۹۴۲/۴	۵۰	۲/۸	۷/۹	۵/۴
۱۸	تمرقره‌قوزی	نیمه خشک معتدل	۹۹۷/۱	۵۱	۳	۸	۵/۴

در جداول ۲ و ۳، اطلاعات مربوط به آبکندهای معرف در اقلیم‌های مختلف استان گلستان ارائه شده و طول آن‌ها بین ۵۰ تا ۱۱۰۰ متر متغیر است. بررسی روابط بین حجم فرسایش آبکندی با ویژگی‌های مورفومتریک آبکندها در

مقاطع مختلف و مقایسه آن‌ها با نتایج حاصل برای مقطع ۵۰٪، نشان داد که تفاوتی بین خروجی‌ها وجود ندارد، لذا گرچه پارامترهای مورفومتریک آبکندها در مقاطع ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد و پیشانی آبکند اندازه‌گیری شده، ولی در بررسی روابط، از اطلاعات پارامترها در میانه آبکند (۵۰٪ طول آبکند از پیشانی) استفاده شده است. عمق آبکندها در مقطع ۵۰٪ طول، از پیشانی بین ۰/۷ متر تا ۹/۵ متر متغیر است. آبکندهای استان گلستان بر اساس نظریه Nacthergaele و Poesen (۲۰۰۲)، در طبقه آبکندهای عمیق قرار می‌گیرند. عرض فوقانی ۵۰٪ (میانه) آبکند از حداقل ۳/۷ متر تا ۲۷/۵ متر متغیر است. عرض تحتانی ۵۰٪ (میانه) آن‌ها نیز بین ۱ تا ۱۰/۵ متر، تغییر می‌کند. تغییرات حجم فرسایش آبکندها نیز بین ۱۳۳ مترمکعب در آلاگل، تا حدود ۳۳۴۲۵/۵۶ مترمکعب در مراوه‌تپه محاسبه شده است. نسبت عرض فوقانی به عمق آبکندها از ۱/۳ تا ۷/۴ تغییر می‌کند (جدول ۳). دانه‌بندی ذرات نشان می‌دهد که عمده ذرات تشکیل‌دهنده خاک در مناطق آبکندی استان گلستان را سیلت تشکیل می‌دهد؛ به‌طوری که سیلت بین ۴۸ تا ۷۴ درصد متغیر است (جدول ۳).

جدول ۳- ویژگی‌های مورفومتریک و خاک در فرسایش آبکندی استان گلستان

شماره آبکند	عرض بالا به عمق (مقطع ۵۰٪)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	ماسه (درصد)	نسبت جذب سدیم	کلسیم (میلی‌اکی والان در لیتر)	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)
۱	۷/۴	۱۸	۴۸	۳۴	۶۲/۶	۴۱۶	۸۹
۲	۳/۳۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۵/۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۵	۸	۷۴	۱۸	۵/۹	۱۴۲	۱۵/۱
۵	۱/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۱/۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۸/۹	۱۰	۶۹	۲۱	۹/۵	۱۱۸	۱۴/۵
۸	۴/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۱/۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۲/۹	۱۶	۷۴	۱۰	۱/۲	۱۰	۱/۱
۱۱	۱/۹۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	۲/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	۱/۹۸	۱۰	۷۴	۱۶	۴/۸	۱۰۴	۱۲/۹
۱۴	۲/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶	۱/۳	۳۸	۵۴	۸	۸۲/۶	۱۲۴	۵۳/۲
۱۷	۲/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۸	۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰

بررسی رابطه بین عرض فوقانی و عمق آبکندها در استان گلستان، نشان از رابطه خطی و مثبت بین این دو عامل دارد؛ هر چند که ضریب تبیین آن نسبتا پایین است (جدول ۴). رابطه بین عمق و عرض فوقانی در آبکندهای استان گلستان در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و به ازای هر واحد افزایش در عرض آبکندها، مقداری معادل ۰/۵۵ واحد بر عمق آن‌ها افزوده می‌شود (جدول ۴). در بین مناطق آبکندی، مناطق دارای رس بیش‌تر، نظیر تمرقره‌قوزی و آلاگل، دارای عرض کم‌تر و مناطقی، مانند عرب‌قره‌حاجی و حاجی‌قوشان با سیلت بیش‌تر از ۶۰ درصد، دارای بیش‌ترین عرض فوقانی در بین آبکندهای استان گلستان بوده‌اند (جداول ۲ و ۳). این یافته موید نظرات ریشتر و نگنداک (Morgan، ۱۹۸۵) درباره حساس‌ترین خاک‌ها به فرسایش در صورت دارا بودن ۴۰ تا ۶۰ درصد سیلت است. این رابطه با رابطه (۲) ارائه شده برای خاک‌های غیرچسبنده توسط سازمان حفاظت خاک امریکا (۱۹۶۶) مشابه است. رابطه خطی ارائه

شده بین عرض فوقانی و عمق آبکندها در استان گلستان، بیان‌گر این واقعیت است که افزایش عرض آبکندهای استان گلستان بیش‌تر از افزایش عمق آن‌ها است؛ به‌عبارت دیگر، خطر تخریب اراضی مرتعی و دیم بر اثر وقوع این نوع فرسایش بسیار بالاتر از مناطقی است که افزایش عمق آن‌ها بیش‌تر است؛ لذا در اراضی زراعی استان، وقوع فرسایش آبکندی قادر است تا مساحت زیادی از اراضی را از زیر کشت خارج نماید و مشکلات خاصی نظیر بی‌کاری، مهاجرت و تولید رسوب را به‌دنبال داشته باشد. بنابراین در پیش‌گیری از ایجاد و همچنین کنترل گسترش آبکندها، بایستی اقدامات علمی، دقیق و سریعی صورت گیرد؛ در غیر این‌صورت، خطرات بالقوه و بالفعل ناشی از این موضوع باعث پرشدن سدهای احداثی در پایین‌دست آن‌ها خواهد شد.

جدول ۴- رابطه بین عمق و عرض فوقانی آبکندهای استان گلستان

معادله	ضریب استاندارد (β)	ضریب تبیین اصلاح‌شده	سطح معنی‌داری
$D = 2.146 + 0.173W_t$	۰/۵۵	۰/۲۶	۰/۰۵

رابطه بین عامل شکل (Wt/D) و طول آبکند، سطح معنی‌دار بودن، ضریب تبیین اصلاح‌شده و ضریب استاندارد آن در جدول ۵ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که به‌ازای یک واحد افزایش در طول آبکندهای گلستان، مقدار ۰/۶۶ واحد بر عامل شکل یا نسبت عرض فوقانی به عمق آبکند افزوده می‌شود؛ همچنین ضریب تبیین این رابطه از ضریب ارائه شده برای آبکندهای مولداوی (Ionita، ۲۰۰۳) بیش‌تر است.

جدول ۵- رابطه بین عامل شکل و طول در آبکندهای استان گلستان

معادله	ضریب استاندارد (β)	ضریب تبیین اصلاح‌شده	سطح معنی‌داری
$\frac{W_t}{D} = 2.27 + 0.006L$	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۰۵

در بررسی رابطه بین حجم فرسایش آبکندی با متغیرهای مختلف ارائه شده در جداول ۲ و ۳، مشخص گردید که بین حجم فرسایش آبکندی و متغیرهای طول، عرض‌فوقانی، عرض‌تحتانی، عمق و عامل شکل (نسبت عرض‌فوقانی به عمق) آبکند، رابطه مثبت، و بین حجم آبکند با پارامترهائی نظیر هدایت‌الکتریکی، کلسیم، نسبت جذب سدیم، درصد رس، نسبت عرض تحتانی به عرض‌فوقانی و نسبت عرض‌فوقانی به طول، رابطه منفی وجود دارد (جدول ۶). همین نتایج بیان‌گر این مطلب است که تنها چهار متغیر طول، عرض‌فوقانی، عرض‌تحتانی و عامل شکل آبکند، با حجم فرسایش آبکندی رابطه معنی‌دار داشته که سه عامل اول در سطح اعتماد ۹۹ درصد و عامل چهارم در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است (جدول۶). بیش‌ترین همبستگی، بین حجم فرسایش آبکندی با طول و عرض فوقانی آبکندهای استان گلستان برقرار است (جدول ۶). این نتایج با نتایج به‌دست آمده در تحقیقات محققینی، نظیر Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱) تطابق دارد که نشان می‌دهد در برآورد حجم فرسایش آبکندی، عواملی نظیر طول تاثیر بسیار زیادی دارد. همچنین در برآورد فرسایش آبکندی با استفاده از مدل EGEM، استفاده از عرض فوقانی در مدل توصیه شده است؛ کاربرد این مدل در برآورد فرسایش آبکندی در اروپا (Vandkerckhove و همکاران، ۲۰۰۰) نشان داده که استفاده از متغیر طول آبکند در مدل، به‌جای عرض فوقانی می‌تواند برآوردها را به واقعیت نزدیک‌تر کند؛ علت این امر تغییرات ناچیز عرض فوقانی آبکندها و تغییرات بیش‌تر طول آبکند بیان شده است.

رابطه بین طول آبکند و حجم فرسایش در آبکندهای استان گلستان بیان‌گر رابطه خطی قوی بین این دو عامل است؛ این رابطه نشان می‌دهد که طول آبکندهای استان گلستان عمدتا کوچک‌تر از ۵۰۰ متر است و ۸۶ درصد از تغییرات در حجم رسوبات حاصل از آبکندهای این استان با طول آبکندها تفسیر می‌شود (جدول ۷). به‌منظور ارائه

معادله برآورد حجم فرسایش آبکندی با استفاده از پارامترهای قابل اندازه‌گیری، معادله‌ای با استفاده از سه متغیر طول، عمق و عرض فوقانی در ۵۰ درصد طول آبکند توسط نرم‌افزار آماری توصیه گردید (رابطه ۹). ضریب تبیین اصلاح شده این رابطه، معادل ۰/۹۷۸ است (جدول ۷) و براساس مقادیر ضرایب استاندارد سه پارامتر استفاده شده در رابطه (۹)، طول آبکند بیش‌ترین تاثیر را در برآورد حجم فرسایش آبکندی دارد (جدول ۷). در صورتی‌که از سه پارامتر ارائه شده در جدول ۷ استفاده شود، کافی است طول آبکند و عمق و عرض فوقانی آن را در مقطع ۵۰٪ طول از پیشانی آبکند اندازه‌گیری کرده و با قرار دادن آن‌ها در رابطه (۹)، حجم فرسایش آبکندی را برآورد نمود. در ساده‌ترین حالت می‌توان از یک پارامتر، یعنی طول آبکند، استفاده کرد که مناسب‌ترین رابطه خطی آن در جدول ۷ ارائه شده که ضریب تبیین اصلاح شده آن (R^2) معادل ۰/۸۶ خواهد بود. رابطه توانی بین حجم فرسایش آبکندی بر حسب مترمکعب و طول آبکند بر حسب متر به‌صورت $V = 3.939L^{1.32}$ به‌دست آمد که ضریب تبیین (R^2) آن معادل ۰/۵۴ است (شکل ۲). این رابطه توانی از نظر ضریب تبیین و توان، با رابطه ارائه شده برای آبکندهای موقت ایجاد شده در اراضی زراعی در سیسیل ایتالیا و چین (روابط ۶ و ۷)، قابل مقایسه است. توان به‌دست آمده در آبکندهای استان گلستان بسیار شبیه توان حاصله برای آبکندهای موقت مطالعه شده در پرتغال (رابطه ۵) توسط Nachtergaele و همکاران (۲۰۰۱ب) و نزدیک به توان روابط (۶ و ۷) است. تفاوت ضریب α با مقدار ۳/۹۳۹ در آبکندهای استان گلستان با ضریب α در آبکندهای پرتقال، سیسیل ایتالیا و چین به‌دلیل تفاوت در نوع آبکندهای مورد بررسی در دو منطقه است. آبکندهای بررسی‌شده در سیسیل ایتالیا، از نوع آبکندهای موقت و کوچک هستند که در فصل کشت بر روی اراضی زراعی ایجاد می‌شوند و با اجرای عملیات خاک‌ورزی، از جمله شخم، در سال بعد با خاک پر می‌شوند؛ در حالی‌که آبکندهای مورد بررسی در استان گلستان از نوع دائمی بوده که دارای ابعاد مورفومتریک بسیار بزرگ‌تر از انواع بررسی شده در کشورهای مزبور هستند.

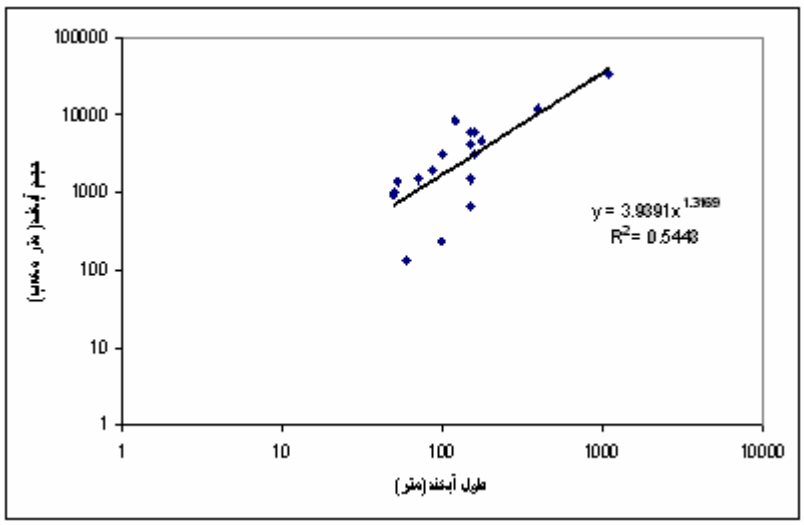
$$V = -۳۳۷۰ + ۲۰/۷۹ L + ۶۱۳/۵ D + ۱۳۳/۶Wt \qquad (۹)$$

جدول ۶- میزان همبستگی بین حجم فرسایش آبکندی با متغیرهای مختلف در استان گلستان

متغیر	ضریب همبستگی R
L	0.932**
Wt	0.753**
Wb	0.537**
Wt/D	0.513*
D	0.225
Ec	-0.444
Ca	-0.325
SAR	-0.434
Clay	-0.353
Wb/Wt	-0.280
Wt/L	-0.238

جدول ۷- رابطه بین حجم فرسایش آبکندی و متغیرهای طول، عمق و عرض فوقانی در استان گلستان

متغیر یا معادله	ضریب استاندارد (β_1)	ضریب استاندارد (β_2)	ضریب استاندارد (β_3)	ضریب تبیین اصلاح‌شده	سطح معنی‌داری
L	0.932			0.86	0.01
L, D	0.966	0.325		0.97	0.01
L, D, Wt	0.871	0.227	0.159	0.978	0.01



شکل ۲- رابطه توانی بین حجم و طول آبکندهای استان گلستان

آبکندهای استان گلستان در دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک، و از نظر عرضی گسترش بیش‌تری دارند. تحلیل آماری نتایج حاصله نشان داد که بین حجم و طول آبکندهای استان گلستان یک همبستگی قوی وجود دارد. رابطه خطی دارای ارجحیت بیش‌تری نسبت به رابطه توانی است؛ زیرا دارای ضریب تبیین بیش‌تری (۰/۸۶) نسبت به رابطه توانی است؛ بنابراین توصیه می‌شود در برآورد حجم فرسایش آبکندی از رابطه خطی استفاده گردد. با اندازه‌گیری طول آبکند بر روی مدارک تاریخی، نظیر عکس‌هوائی، می‌توان حجم فرسایش آبکندی را برآورد نمود.

پیشنهادها

۱. لازم است تعداد بیش‌تری از آبکندهای استان گلستان اندازه‌گیری شود و روابط بسط داده شده ارتقاء یابد.

۲. فاصله بین مقاطع عرضی کوچک‌تر شده و خطای برآورد حجم مورد مقایسه قرار گیرد.

۳. اعتبارسنجی مدل در نقاط دیگر آبکندی استان و سایر نقاط مشابه خارج از استان بررسی شود.

منابع مورد استفاده

۱. شهریور، ع.، س. فیض‌نیا و ح. احمدی. ۱۳۷۸. بررسی علل فرسایش خندقی در منطقه سوق. پژوهش و سازندگی، دوره ۱۲، شماره ۴۰، بهار، صفحه ۲۴-۱۸.

۲. حیدری‌مورچه‌خورتی، ف. ۱۳۸۳. بررسی مکانیزم توسعه فرسایش آبکندی (استان کرمان). گزارش نهائی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰۵ صفحه.

1.Capra, A., L.M. Mazzara and B. Scicolone. 2005. Application of the EGEM model to predict ephemeral gully erosion in Sicily, Italy. Catena, 59:133-146.

2. Faulkner, H., D. Spivey and R. Alexander. 2000. The role of some site geochemical processes in the development and stabilization of the badland sites in Almeria, Southern Spain. Geomorphology, 35:87-99.

3. Ghaffari, A.R. 1998. Aerospace techniques applied to gully erosion studies in Shahre-Kord, Iran. M.Sc. Thesis, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).

4. Ionita, I. 2003. Hydraulic efficiency of the discontinous gullies. Catena, 50:369-379.

5. Morgan, R.P.C. 1995. Soil erosion and Conservation. Second edition, Longman, 198pp.

6. Nachtergaele, J. and J. Poesen. 2001a. 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.

7. Nachtergaele, J., J. Poesen, L. Vandekerckove, D. Oostwoud Wijdenes and M. Roxo. 2001b. Testing the ephemeral gully erosion model (EGEM) for two Mediterranean environments. Earth Surface Processes and Land Forms, 26:17-30.

8. Nachtergaele, J. and J. Poesen. 2002. Spatial and temporal variations in resistance of loess-drived soils to ephemeral gully erosion. European Journal of Soil Science 53(3):449-464.

9. Poesen, J., K. Vandaele and B. Van Wesemael. 1998. Gully erosion: importance and model implications. In: Boardman J. and D. Favis-Mortlock (eds.), Modelling soil erosion by water. Nato series, Vol. 155, Springer Verlag Berlin Herdeiberg.
10. Poesen, J., J. Nachtergaele, G. Verstraeten and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena, 50:91-133.
11. Schumm, S.A. 1960. The shape of alluvial channels in relation to sediment type, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 352-B:17-30.
12. Soil Science Society of America. 2001. Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America, Madison, WI, http://www.soils.org/sssagloss/.
13. USDA-SCS. 1966. Technical release No.32 (Geology). US Department of Agriculture, Washington DC, 125-142.
14. Vandkerckhove, L., J. Poesen, D. Oostwoud Wigdenes, G. Gyssels, L. Beuselinck, and E. Deluna. 2000. Characteristics and controlling factors of bank gullies in two semi-arid Mediterranean environments. Geomorphology, 3(1-2):37-58.
15. Zhang, Y., Y. Wu, B. Liu, Q. Zheng and J. Yin. 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.