

بررسی عوامل مؤثر بر مورفولوژی آبکندهای جنوب غرب نظرآباد به کمک پهپاد

رضا بیات^۱، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی^{۲*}، مجید صوفی^۳، عباس ملکی^۴ و امید علی اکبرپور^۵

^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران bayat52@gmail.com

^۲ دانشجویار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، ایران alinejadian@yahoo.com

^۳ دانشجویار مرکز تحقیقات و آموزش منابع طبیعی و کشاورزی استان فارس، ایران majidsoufi2@gmail.com

^۴ دانشجویار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، ایران dr.maleki38@yahoo.com

^۵ استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، ایران omidakbarpour@gmail.com

« مقاله پژوهشی »

دریافت: ۱۴۰۲/۹/۲۰ و پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۱۰

چکیده

فرسایش آبکندی یکی از شکل‌های مهم و مخرب فرسایش آبی است که هنوز در مورد شکل‌گیری و گسترش آن ابهاماتی وجود دارد. این پژوهش با هدف شناسایی ویژگی‌های خاکی و غیرخاکی مؤثر بر آبکندهای جنوب نظرآباد در سال ۱۳۹۹ انجام شد. پس از بازدیدهای میدانی و به کمک تصویر گوگل ارث، مرز محدوده آبکندی شده ترسیم و تعداد ۳۲ رشته آبکند انتخاب شد. یک نمونه‌ی خاک سطحی در محل دیواره بالاکنده هر آبکند تهیه و آزمایش شد. مشخصات شکل شناختی حوزه آبخیز آبکندها (مساحت، محیط، شیب، ضریب شکل) با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر پهپاد تعیین شد. ویژگی‌های عمومی سطح خاک آبخیز آبکندها شامل تاج پوشش، خاک لخت و درصد بقایا با استفاده از پلات 1×1 متری تعیین و مشخصات شکل شناختی آبکند شامل طول، عرض و عمق آن اندازه‌گیری و حجم آبکند محاسبه شد. شناسایی عوامل مؤثر بر آبکندها با تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون خطی چند متغیره (روش گام به گام) در محیط MINITAB و روی ۷۰٪ مشاهدات انجام شد. رابطه بین حجم آبکندها به نمایندگی از مورفولوژی آن با ویژگی‌های خاک و مشخصات آبخیز آبکند بررسی و رابطه آن معرفی شد. برای اعتبارسنجی از ۳۰ درصد باقیمانده نمونه‌ها استفاده شد. تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که مشخصات قابلیت هدایت الکتریکی، یون‌های محلول پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلر، فرسایش‌پذیری خاک، تاج پوشش گیاهی، درصد خاک لخت و درصد اشباع بر توسعه آبکند تأثیر دارند. بر اساس نتایج تحقیق و به‌خصوص با تکیه بر ضریب کارایی نش-شاتکلیف، مدل معتبری توسعه داده نشد. مدل با ضریب همبستگی ۰/۵۹ و چهار عامل پتاسیم، جرم مخصوص ظاهری، درصد بقایای گیاهی و درصد خاک لخت، توانست ۳۵ درصد تغییرات حجم آبکند را توضیح دهد. تقویت و احیای پوشش گیاهی در منطقه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبخیز، بالاکنده آبکند، فرسایش خاک، کارایی مدل، هدررفت خاک

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: alinejadian@yahoo.com

مقدمه

پژوهش‌های فرسایش خاک از گذشته‌های نسبتاً دور شروع شده، اما تحقیقات فرسایش آبکنده^۱ سابقه طولانی ندارد و هنوز ندانسته‌هایی در رابطه با ایجاد، گسترش و روش‌های مناسب مهار آن وجود دارد. نتایج پژوهش‌ها در رابطه با مؤلفه‌های مؤثر بر ایجاد و توسعه^۲ آبکندها، می‌تواند به مدیریت آبکندها در مناطق فاقد آمار و اطلاعات کمک کند. روابط بین حجم و طول آبکندها با دیگر مشخصات آن می‌تواند برای تعیین هدر رفت خاک، مقدار خسارت و برنامه‌ریزی برای مدیریت آن مناسب باشد، اما چنین روابطی خاص منطقه مورد مطالعه است و لازم است برای هر منطقه بومی‌سازی شود (فرانکل و همکاران، ۲۰۱۳).

آبکندها به‌عنوان بدترین شکل تخریب خاک، منبع مهم تولید رسوب و چالش مهم مدیریت زمین در جهان هستند و در جایی رخ می‌دهند که مناطق بدون پوشش، جاده‌ها و مسیرهای عبور گله (به‌عنوان منابع مهم رواناب و مجاری هیدرولوژیکی عامل ایجاد و گسترش آبکندها) وجود دارند یا اقدامات ناپایدارکننده اراضی در شرایط خاک‌های مستعد فرسایش و یا دارای زمین‌شناسی حساس یا دامنه‌های با شیب ناپایدار توسط اقدامات انسانی انجام شود (فزل سوفلو و همکاران (۱۳۹۷)؛ کوچی و همکاران (۲۰۲۰)؛ لی و همکاران (۲۰۱۶)؛ کاستلو و گومز، ۲۰۱۶).

شناخت عوامل کنترل توسعه بالاکند^۳ و گسترش جانبی آبکندها برای طراحی اقدامات مناسب مهار آبکندها بسیار مهم است. پوشش گیاهی، شیب، بارندگی و مساحت آبخیز تولیدکننده رواناب، عدم وجود اقدامات کنترلی، مقدار کم رس خاک و شاخص فرسایش‌پذیری بالا همراه با شیب زمین و زهکشی نامناسب عوامل مؤثر بر توسعه آبکندهای موقتی و پیشرفت سر آبکندها (بالاکند) هستند (کومارشیت و همکاران، ۲۰۱۳؛ اهیس و اوموگبو، ۲۰۱۳؛ اویگن و

همکاران، ۲۰۱۶). همچنین زگی و همکاران (۲۰۱۶) و برگانس و رایس (۲۰۱۶) تأکید کرده‌اند که عمق بالاکند و منطقه زهکشی بالادست آن (مساحت آبخیز) که نماینده مقدار رواناب سطحی است از عوامل کنترل‌کننده فرسایش آبکندها به حساب می‌آیند.

علاوه بر تأثیر بارندگی عواملی مانند عمق رواناب، مدت‌زمان و فراوانی بارش، می‌تواند در توسعه آبکندها مؤثر باشند و برای برآورد دقیق تلفات خاک باید موردتوجه قرار گیرند (کریموف، ۲۰۱۶). بررسی ارتباط بین مساحت و محیط آبکندها، مبین روند خطی بین این متغیرها است و به تعریف شکل آبکندها (آبکندهای باریک و طولانی یا پهن و کوتاه) منتهی شد (بوریان و همکاران، ۲۰۱۵).

اثرات رطوبت و خصوصیات رواناب بر توسعه آبکندها (کریموف و شیشوکوف، ۲۰۱۷)، مساحت آبخیز و کاهش درصد ماده آلی در نتیجه فشار بر مراتع و از دست رفتن پوشش گیاهی، باعث افزایش رواناب و تسریع در گسترش آبکندها می‌شود (صوفی و همکاران، ۱۳۸۹؛ فریدگیلو و قزوی، ۱۳۹۷). همچنین از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مثل گج، SAR، EC و کرنات کلسیم معادل (TNV^۴)، تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های خاک آبکندهای مختلف در واحدهای اراضی متفاوت وجود دارد (صوفی و همکاران، ۱۳۸۹؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ محمدابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴)؛ راهی و همکاران، ۱۴۰۰).

عوامل توپوگرافیک، هیدرولوژیک، اقلیمی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری، فاصله از رودخانه و درصد رس بیشترین اهمیت را در وقوع و گسترش فرسایش آبکندها دارند (امیری و همکاران، ۱۳۹۸؛ عرب‌عامری و همکاران، ۲۰۱۹). یافته‌های شهاب آخازلو و اصغری (۱۳۹۹) هم بر تأثیر عوامل محیطی و ویژگی‌های مختلف خاک بر گسترش آبکندهای دائمی و موقتی تأکید دارد. همچنین شیرانی (۱۴۰۰)، با پهنه‌بندی

³ Head cut

⁴ Total Neutralizing Value

¹ Gully Erosion

² Initiation and Development

(۲۰۱۹) نیز با بررسی تأثیر وضوح DEM بر دقت نقشه‌های آبکندی، مدل‌های رقومی ارتفاع با وضوح ۰/۵ تا ۲ متر را برای نقشه‌برداری آبکندها مناسب‌تر دانستند.

بررسی‌های پیشین بیانگر این نکته است که در خصوص مطالعه آبکندها به کمک پهپاد، پژوهش‌های اندکی انجام شده و با توجه به تحولات شکلی آن‌ها به منظور تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی اقدامات مناسب برای مدیریت آبکندها، نیاز به ابزاری است که بتوان در زمان‌های لازم نقشه و دیگر داده‌های موردنیاز را تهیه نمود و برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی اقدامات مناسب برای مدیریت آبکندها به کار گرفت. بر این اساس هدف از این پژوهش شناسایی مشخصات مؤثر بر حجم آبکندها به عنوان نماینده مؤلفه‌های مورفولوژیک آبکندهای منطقه مورد مطالعه بود تا ضمن شناخت ویژگی‌های مؤثر، راهکارهای مناسب به منظور کاهش پیشرفت و توسعه این نوع فرسایش در منطقه ارائه شود.

مواد روش‌ها

مشخصات منطقه

منطقه تحقیق در جنوب غرب نظرآباد واقع شده است (شکل ۱). بخش عمده منطقه دارای پوشش گیاهی کم و شور دوست است و در فاصله نزدیک به منطقه آبکندی شده، باغ‌های پسته و اراضی زراعی مشاهده می‌شود. سازند زمین‌شناسی نظرآباد، دشت رسی و دما و بارش سالانه به ترتیب ۱۳ سلسیوس و ۱۹۵ میلی‌متر است (پیروان، ۱۳۹۵). نقشه موقعیت و مرز حوزه آبخیز آبکندهای منتخب در شکل ۲ نمایش داده شده است.

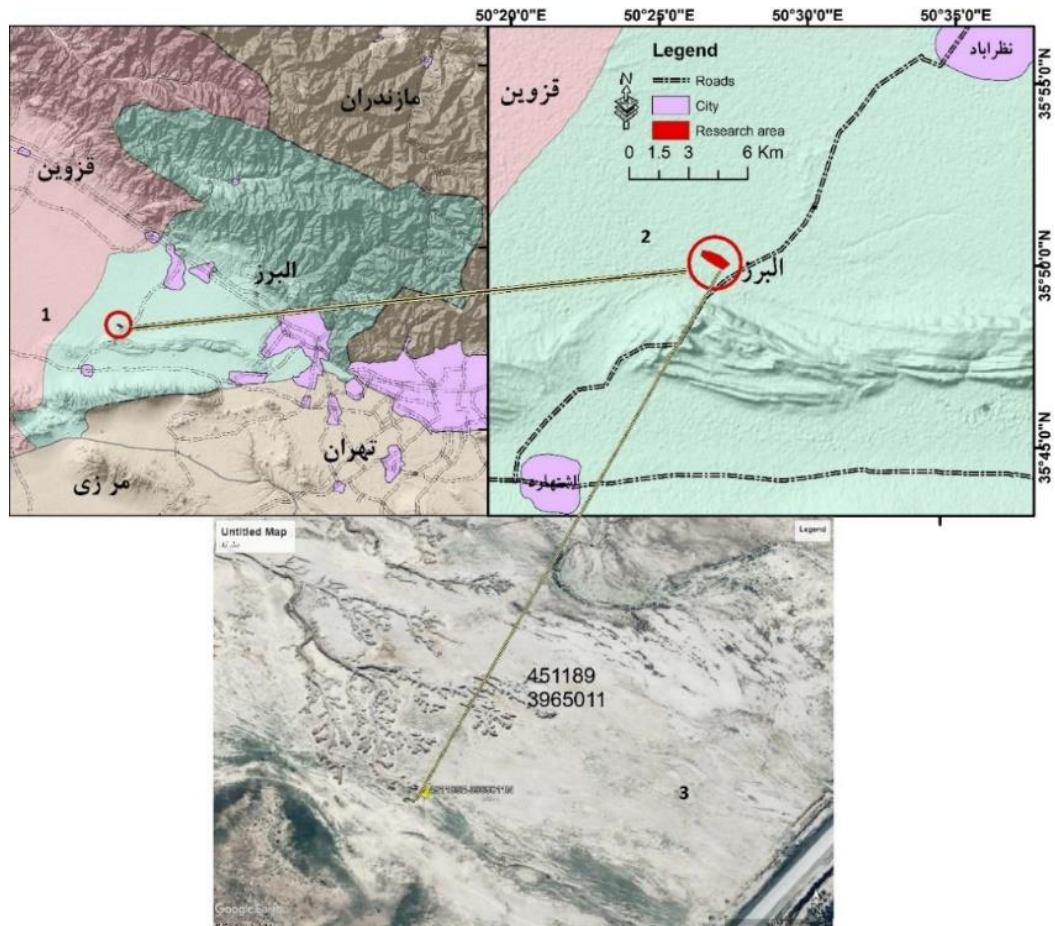
و تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های آماری و احتمالاتی، نشان داد که در روش رگرسیون چند متغیره، عوامل کاربری اراضی، شیب و فاصله از آبراهه بیش‌ترین اثر را در رخداد آبکندها دارند.

بنا بر نظر فرانکل و همکاران (۲۰۱۵) توانایی درک توسعه فرسایش آبکندی با امکانات مورداستفاده در کمی‌سازی مورفولوژی آبکندها ارتباط نزدیکی دارد. از آنجایی که تهیه نقشه آبکندها پیش‌نیاز مهمی برای مطالعه فرسایش آبکندی و تخریب زمین است، روش‌های مبتنی بر فن‌آوری وسایل هوایی بدون سرنشین^۱ (پهپاد) و مدل رقومی ارتفاع^۲ (DEM)، برای تولید خودکار نقشه آبکندها و پایش فرسایش خاک پیشنهاد شده‌اند (سکوئرا و همکاران، ۲۰۱۹). به‌کارگیری فن‌آوری جدید نقشه‌برداری با پهپاد در دهه اخیر، برای اندازه‌گیری برخی شاخص‌های شکل‌شناسی آبکندها و تولید DEM مرسوم شده است (لوکا و همکاران، ۲۰۱۱؛ مارزولف و همکاران، ۲۰۱۱؛ اهیوربو و آیودو، ۲۰۱۲؛ ساکسا و مینار، ۲۰۱۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۶).

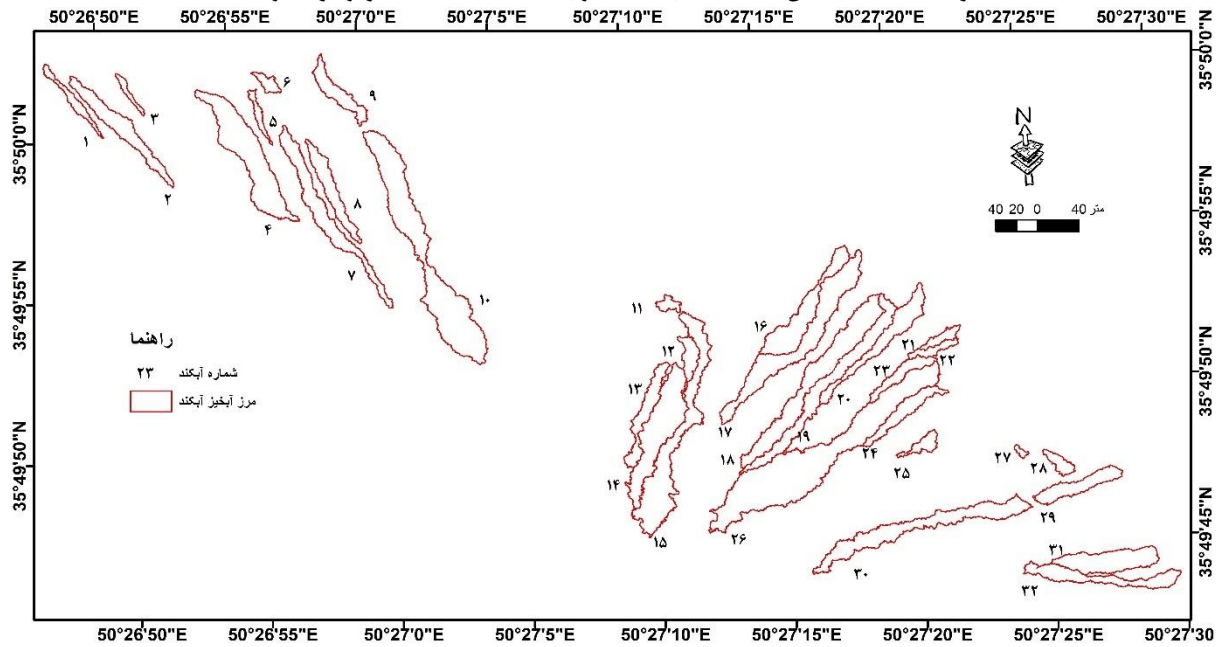
همچنین به دلیل وقت‌گیر و هزینه‌بر بودن مطالعات میدانی و این نکته که تصاویر دوبعدی (حتی عکس‌های هوایی) ممکن است فاقد اطلاعات لازم برای مطالعات شکل‌شناسی باشند؛ بنابراین باید از فن‌آوری‌های پیمایشی سنجش‌ازدور برد کوتاه استفاده کرد تا اطلاعات سه‌بعدی در مورد ویژگی‌های آبکندها به دست آید (راولسون و همکاران، ۲۰۱۳). کریمی نژاد و همکاران (۲۰۱۸) برای پایش مکانی و بررسی آستانه‌ای عوامل تأثیرگذار بر فرسایش تونلی به‌عنوان یکی از مسیرهای ایجاد و توسعه آبکندها در اراضی لسی استان گلستان از تصاویر هوایی پهپاد استفاده کردند. در همین راستا دای و همکاران

² Digital Elevation Model

¹ Unmanned Aerial Vehicle (UAV)



شکل ۱- موقعیت منطقه تحقیق (۱)، فاصله با جاده نظرآباد - ماهدشت (۲) تصویر گوگل ارث منطقه (۳)



شکل ۲- نقشه موقعیت و حوزه آبخیز آبکندهای مطالعاتی

روش تحقیق

تهیه شد. بر اساس پلیگون حوزه آبخیز هر آبکند و با استفاده از DEM و نقشه شیب، مساحت، محیط، شیب و ارتفاع حوزه آبخیز هر آبکند توسط نرم‌افزار ArcMap استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. یک نمونه‌ی خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) در محل دیواره بالاکنند هر آبکند بعد از تازه کردن سطح دیواره تهیه (شکل ۳) و به آزمایشگاه خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ارسال شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت، ماده آلی، pH، SAR، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره، املاح محلول (نظیر سدیم، پتا سیم، کلسیم، منیزیم، بیکربنات، کربنات) (علی‌احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲)، فرسایش‌پذیری خاک به روش K-EPIC (عرب خداری و همکاران ۱۳۹۹) و درصد رطوبت اشباع بر اساس روش‌های استاندارد تعیین شدند.

پس از بازدیدهای صحرائی، بر اساس تصاویر گوگل ارث^۱ مرز محدوده دارای فرسایش آبکندی ترسیم، رشته آبکند انتخاب و موقعیت آن‌ها با سامانه موقعیت‌یاب جهانی ثبت شد. برای ترسیم مرز حوزه آبخیز هر آبکند، ابتدا تصویربرداری از منطقه توسط پهپاد Dji Phantom 3 Professiona انجام و سپس عکس‌های پهپاد با نرم‌افزار Agisoft پردازش شد. یکی از محصولات فرایند پردازشی تصاویر، مدل رقومی ارتفاع (DEM) است و از لایه DEM، نقشه شیب منطقه در محیط ArcMap10.2 تهیه شد. سپس از DEM حاصله به‌عنوان ورودی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۲ در محیط ArcMap10.2 استفاده و با ابزار جانبی تخصصی، مراحل بستن مرز حوضه‌ها انجام و پلیگون حوزه آبخیز هر آبکند



شکل ۳- نمای تازه شده دیواره بالاکنند برای نمونه‌برداری خاک (الف) و پلات تعیین مشخصات سطح خاک (ب)

ویژگی‌های سطح خاک بالادست آبکندها شامل درصد سنگریزه سطحی، درصد لاشبرگ (بقایا)، درصد خاک لخت و درصد تاج پوشش گیاهی و تعداد گیاه در واحد سطح، با پلات گذاری در سطح آبخیز هر آبکند تعیین شد (شکل ۳). طول آبکند با استفاده از متر نواری از بالاکنند تا انتهای آن در مسیر کف کانال آبکند اندازه‌گیری و بر

اساس تغییرات شکل مقطع به طول‌های با مقطع عرضی مشابه تقسیم و در وسط هر مقطع عرضی، مشخصات آبکند شامل عمق، عرض بالا، عرض پایین اندازه‌گیری شد. با ضرب سطح مقطع در طول، حجم جزئی^۳ و از مجموع حجم‌های جزئی، حجم کل آبکند محاسبه شد (صوفی و عیسایی، ۱۳۸۹). مجموع اطلاعات در بانک

³ Partial Volume

¹ Google Earth

² Geographic Information System

نتایج و بحث

آبکندهای منطقه یو (U) شکل، پلان عمومی آن‌ها از نوع پنجه‌ای و در یک دشت کم شیب و از آبراهه اصلی منشعب و گسترش یافته‌اند و عموماً محل تمرکز جریان رواناب دشت هستند (شکل ۴). نتایج حاصله با یافته‌های پژوهش صوفی و همکاران (۲۰۲۰) که برای منطقه اعلام کرده‌اند، همخوانی داشت. نتایج مشخصات شکل‌شناسی آبکندهای منطقه نظرآباد، نشان داد که متوسط عمق بالاکندها ۳۸ سانتی‌متر، طول متوسط ۲۴ متر و متوسط حجم آبکندها ۳۹ متر مکعب است.

خاک محل توسعه آبکندها در منطقه نظرآباد با مقادیر EC، SAR، pH ارائه‌شده در جدول ۱، مبین شرایط شوری متوسط (۸۲ دسی زیمنس بر متر) و مقدار اسیدیته بالا (۸/۲۸) است و سدیم و بی‌کربنات (به ترتیب ۱۰۷۰ و ۲ میلی‌اکی والان در لیتر) آن نشان‌دهنده‌ی قلیابیت بالا است. مقدار ماده آلی کم با میانگین ۰/۳۹ درصد از جمله مشخصات بارز منطقه است که این شرایط باعث افزایش فرسایش‌پذیری خاک منطقه می‌شود (مورگان، ۱۹۹۵). متوسط توزیع ذرات رس (۲۳ درصد)، سیلت (۵۵ درصد) و شن (۲۲ درصد)، نمایانگر حساسیت بافت خاک منطقه و شرایط مناسب برای ایجاد و گسترش آبکندها است (اهیسو اوموگبو، ۲۰۱۳؛ صوفی و همکاران، ۲۰۲۰).

متوسط مشخصات حوزه آبخیز آبکندهای موردبررسی شامل محیط، مساحت، شیب و طول به ترتیب ۳۷۳ متر، ۱۶۵۰ مترمربع، ۱۰ درصد و ۱۱۹ متر بود که با ضریب شکل متوسط ۰/۱۴ نشان داد که آبکندهای منطقه تحقیق، حوزه‌های آبخیز کشیده‌ای (آبکندهای باریک و طولانی) دارند (بوریان و همکاران، ۲۰۱۵). مساحت خاک لخت با متوسط ۹۰ درصد، و تاج پوشش متوسط ۱۰ درصد به همراه فقدان سنگ و سنگریزه از مشخصات دیگر سطح

اطلاعات MINITAB ذخیره و پردازش شد. برای بررسی استقلال خطاها از همدیگر از آزمون دوربین-واتسون^۱ (کازمی و پرهمت، ۱۳۹۷) و عامل تورم واریانس^۲، که شدت هم خطی چندگانه را در تحلیل رگرسیون ارزیابی می‌کند (حبیب‌پور گنابی و صفری شالی، ۱۳۹۰) استفاده شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی به منظور کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی مؤلفه‌هایی از مجموعه داده‌ها که بیشترین تأثیر را بر حجم آبکند داشتند در محیط MINITAB انجام شد.

مدل‌سازی عوامل مؤثر بر آبکندها با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره (روش گام به گام) در محیط MINITAB و روی ۷۰ درصد مشاهدات انجام شد. رابطه بین حجم آبکندها (به‌عنوان متغیر وابسته) با ویژگی‌های خاک و مشخصات حوزه آبخیز آبکند (به‌عنوان متغیرهای مستقل) بررسی و سپس مدل توسعه آبکند (هدر رفت خاک) مناسب معرفی شد. مطالعات صورت گرفته برای ارزیابی کارایی برآورد مدل‌های رگرسیونی، از نسبت ۷۰ درصد داده‌ها برای ایجاد مدل و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی استفاده نموده‌اند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین در این تحقیق نیز از ۳۰ درصد نمونه‌ها که در ساخت مدل به کار نرفته بودند، برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. آماره‌های درصد، میانگین ریشه مربعات خطا^۳ (RMSE)، ضریب جرم باقیمانده^۴ (CRM)، ضریب کارایی نش-ساتکلیف^۵ (NSE)، ضریب تعیین (تیین)^۶ (CD)، میانگین خطای مطلق^۷ (MAE) و شاخص انحراف نسبی^۸ (d_{rel}) (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۸) برای مقایسه و تعیین کارایی مدل به کار گرفته و نتایج آن تحلیل شد.

^۱ Nash-Sutcliffe (NSE)

^۲ Coefficient of Determination (CD)

^۳ Mean Absolute Error (MAE)

^۴ Relative Deviations (d_{rel})

^۱ Durbin-Watson

^۲ Variance Inflation Factor (VIF)

^۳ Root Mean Square Error (RMSE)

^۴ Coefficient of Residual Mass (CRM)

اراضی آب‌کنندی بود که خود از عوامل مؤثر بر کاهش مقاومت و افزایش هدر رفت خاک است. بنا بر نظر راهی و همکاران (۱۴۰۰) با تغییر مقدار ماده‌ی آلی خاک، تغییر مساحت تولیدکننده رواناب یا سطح زمین (پوشش سطح خاک و شیب)، امکان ایجاد و سپس گسترش آب‌کنند فراهم می‌شود.

جدول ۱- متوسط مشخصات خاک نظرآباد

انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	کد مشخصه (واحد)	معرفی مشخصه
47.52	3.71	175.10	82.78	EC (dS/m)	قابلیت هدایت الکتریکی
0.408	7.48	8.99	8.26	pH	اسیدیته
0.267	0.00	1.00	0.09	CO ₃ ⁻ (meq/l)	کربنات
0.591	1.00	3.50	2.04	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	بیکربنات
778	12	3225	1181	Cl ⁻ (meq/l)	کلر
110.5	35.2	562.0	145.3	Ca ⁺⁺ (meq/l)	کلسیم
65.5	8.4	244.0	90.2	Mg ⁺⁺ (meq/l)	منیزیم
818	11	3280	1070.0	Na ⁺ (meq/l)	سدیم
2.062	0.25	7.00	3.6	K ⁺ (meq/l)	پتاسیم
1.316	11.43	16.98	13.9	TNV (%)	کل مواد خنثی شونده
0.196	0.25	0.92	0.61	OC (%)	کربن آلی
6.08	32.90	57.86	45.7	SP (%)	درصد اشباع
12.27	0.00	44.00	21.7	Sand (%)	شن
11.06	31.00	78.00	55.2	Silt (%)	سیلت
9.54	10.00	46.00	23.1	Clay (%)	رس
0.09	1.18	1.52	1.40	Bd (g/cm ³)	جرم مخصوص ظاهری
0.039	0.283	0.46	0.378	K-EPIC	فرسایش‌پذیری

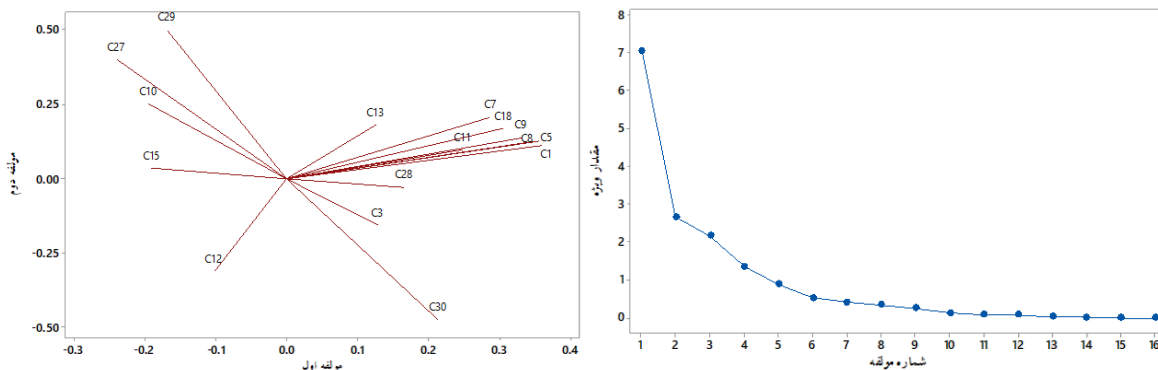


شکل ۴- نمایی از ابعاد آبکند (الف)، تصویر پهپاد از آبکند (ب) و کانال آبکند و فاصله تا جاده نظرآباد به ماهدشت

C7 (Mg^{++}) دارای بار عاملی مثبت و مشخصه شماره C27 (تاج پوشش) و C29 (لاشبرگ) بار عاملی منفی بیش تری در محور اول دارند. نکته‌ی قابل توجه این است که ویژگی‌های دارای اثر مثبت جزء خصوصیات خاکی هستند که مقاومت خاک و افزایش تأثیرپذیری آن در مقابل نیروهای فرساینده تا حدودی به آن‌ها مرتبط می‌شود که محمدابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) نیز بر این یافته صحه گذاشته‌اند. بار عاملی در محور دوم شامل مشخصه شماره C27 (تاج پوشش) و C29 (درصد لاشبرگ) با اثر مثبت و C30 (درصد خاک لخت) و C12 ($SP\%$) با اثر منفی است. تحقیقات خزایی و همکاران (۱۳۹۱)، محمدابراهیمی (۱۳۹۶)، صوفی و همکاران (۲۰۲۰) و شیرانی (۱۴۰۰) نیز تأکید دارد که مشخصات خاک، پوشش گیاهی، کاربری

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی ویژگی‌های خاکی و غیرخاکی منطقه نظرآباد نشان داد که چهار مؤلفه اول با ارزش ویژه بیش‌تر از یک، در مجموع ۸۲/۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توضیح داده و دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۴۴/۲ و ۱۶/۹ درصد تغییرات را در به عهده دارند (شکل ۵). نمودار بارگذاری، برای شناسایی متغیرهای دارای بیش‌ترین تأثیر روی هر مؤلفه (محور) استفاده می‌شود و دامنه تغییرات بارگیری‌ها از ۱ تا -۱ است. متغیرهایی که بار نزدیک به ۱ یا -۱ دارند به شدت بر روی مؤلفه تأثیر می‌گذارند و متغیرهای با بار نزدیک به صفر، تأثیر ضعیفی روی مؤلفه دارند. در شکل ۵، نمودار میله‌ای بارگذاری متغیرهای مؤثر در دسته‌بندی آبکندها در حالت ایجاد نشان می‌دهد که مشخصات C1 (EC)، C8 (Na^+)، C5 (Cl^-) و C9 (K^+)، C18 (فرسایش‌پذیری) و

اراضی و جاده‌سازی از عوامل مؤثر بر ایجاد و گسترش آبکند هستند.



شکل ۵- نمودار سنگریزه‌ای ارزش‌های ویژه (راست) و میله‌ای بارگذاری متغیرهای مؤثر بر آبکندها (چپ)

مقدار آماره دوربین- واتسون در این پژوهش برای آبکندها در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ قرار داشت، بنابراین، فرض صفر برقرار و بین خطاهای برآورد مدل‌ها، همبستگی قابل توجهی مشاهده نشد و اعتبار استفاده از مدل را تأیید کرد. مقدار کم شاخص تورم نیز نشان داد که در مدل‌ها هم خطی وجود نداشت (کاظمی و پرهمت، ۱۳۹۷؛ حبیب‌پور گتایی و صفری شالی، ۱۳۹۰).

صفری شالی، (۱۳۹۰). مدل با ضریب همبستگی ۰/۵۹ و چهار عامل مستقل پتاسیم محلول، جرم مخصوص ظاهری، بقایای گیاهی و خاک لخت، ۳۴/۹ درصد تغییرات را پاسخگوست.

خلاصه اطلاعات تجزیه واریانس عوامل تأثیرگذار بر حجم آبکند (جدول ۲) در خصوص رابطه ارائه‌شده برای آبکندها (رابطه ۱) نشان داد که مدل ارائه‌شده در سطح پنج درصد معنی‌دار و با توجه به ضریب دوربین واتسون مناسب، اعتبار لازم را دارد (حبیب‌پور گتایی و

جدول ۲- خلاصه اطلاعات تجزیه واریانس عوامل تأثیرگذار بر حجم آبکند

P	F	متوسط مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
0.018	3.60	19516	78064	4	همبستگی
0.109	2.75	14941	14941	1	پتاسیم
0.120	2.58	13986	13986	1	جرم مخصوص ظاهری
0.003	10.96	59436	59436	1	بقایای گیاهی
0.013	7.13	38685	38685	1	خاک لخت
		5425	146466	27	خطا
			224530	31	کل

بر اساس جدول ضرایب مدل‌ها عامل حجم آبکند به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل فوق‌الذکر به‌عنوان متغیر مستقل در رابطه ۱ معرفی شد (جدول ۳). مقدار شاخص آماره آزمون VIF با آستانه ۱۰ نشان داد هیچ‌یک از عوامل، هم خطی ندارند و رابطه به‌دست‌آمده دارای اعتبار و در سطح یک درصد معنی‌دار بود (رابطه ۱).

جدول ۳- ضرایب مدل معرفی شده برای مدل تعیین حجم آبکندها

مشخصه	ضریب	انحراف معیار	T*	P	VIF
ضریب ثابت	-4586	1641	-2.80	0.009	-
پتاسیم	-12.1	7.33	-1.66	0.109	1.31
جرم مخصوص ظاهری	250	155	1.61	0.120	1.19
بقایای گیاهی	129.0	39.0	3.31	0.003	8.95
خاک لخت	45.0	16.9	2.67	0.013	9.25

T*: نسبت تفاوت P؛ سطح احتمال معنی داری VIF: عامل تورم واریانس

می‌رسد که به علت پایین بودن بقایا از مقدار آستانه مؤثر بر کاهش فرسایش یا منبع خطای ناشناخته دیگر، نتیجه غیرمنطقی توسط نرم‌افزار محاسبه و اعلام شده است. به منظور بررسی اختلاف میانگین حجم آبکند اندازه‌گیری شده و مقدار محاسباتی حاصل از مدل‌های ارائه شده، برای حدود ۳۰ درصد باقیمانده از مشاهدات، از آماره‌های درصد، RMSE، CRM، NSE، MAE، d_{rel} و R² استفاده شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که از نظر شاخص اختلاف نسبی (درصد)، حدود ۷۷ درصد و بر اساس معذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطا نیز به ترتیب ۳۸ و ۳۲ مترمکعب یعنی به ترتیب ۱٫۸ و ۱٫۶ برابر میانگین حجم مشاهده‌ای بیش برآوردی شده است. همچنین بر اساس محدوده‌های معرفی شده برای پذیرش کارایی مدل، ناش-ساتکلیف، CD، d_{rel} و RMSE، کارایی پایین مدل را نشان می‌دهد (همائی و همکاران، ۲۰۰۲؛ کراسو و همکاران، ۲۰۰۵) و بر اساس نتایج تحقیق و به خصوص با تکیه ضریب کارایی نش-ساتکلیف، مدل معتبری توسعه داده نشده است. لذا استفاده از میانگین داده‌ها به عنوان پیش‌بینی کننده (مدل) بسیار بهتر از یک مدل ضعیف است.

(۱)

C40 = -4586 - 12.1C9 + 250C16 + 129.0C29 + 45.0 C30
 که در آن C40: حجم آبکند، C9: پتاسیم، C16: جرم مخصوص ظاهری، C29: بقایای گیاهی و C30: درصد خاک لخت است. همان‌طور که رابطه مدل نشان می‌دهد با افزایش مقدار پتاسیم محلول در خاک، حجم آبکندها کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد با توجه به مقدار بالای سدیم در نمونه‌های خاک منطقه، هر جا با افزایش نسبی پتاسیم همراه بوده، به دلیل شعاع یونی کمتر و متعاقباً کاهش میزان قابلیت پراکنش خاکدانه، از شدت فرسایش و حجم آبکندها کاسته شده بود، هرچند اثبات و تأیید نهایی این موضوع به تحقیق بیشتر در این زمینه نیاز دارد. از طرفی مدل نشان می‌دهد که با افزایش هر دو عامل درصد بقایا و درصد خاک لخت نیز حجم آبکندها افزایش می‌یابد. از آنجایی که این دو عامل رابطه منفی باهم دارند و از طرفی مقدار پوشش باید حداقلی باشد تا تأثیر کاهشی بر فرسایش داشته باشد (به‌عنوان نمونه کلبعلی و همکاران، ۱۳۹۹ درصد متوسط ۲۵ و برخی منابع حداقل ۳۰ درصد را برای اثرگذاری اعلام کرده‌اند)، به نظر

جدول ۴ - دقت حجم برآوردی مدل در مقایسه با حجم اندازه‌گیری شده آبکندها

نام شاخص	متوسط حجم برآوردی مدل (مترمکعب)	متوسط حجم مشاهده‌ای (مترمکعب)	درصد	CD	NSE	CRM	RMSE	MAE	d _{rel}
مقدار شاخص	37	20.9	77	0.022	-9.43	-0.29	38.17	32.4	0.75

CD: ضریب تعیین NSE: کارایی نش- ساتکلیف CRM: ضریب جرم باقیمانده RMSE: میانگین ریشه مربعات خطا MAE: میانگین خطای مطلق d_{rel}: شاخص انحراف نسبی

کاهش فرسایش‌پذیری خاک) و ضریب کشیدگی (تغییر زمان تمرکز رواناب) و شهاب آرخازلو و همکاران (۱۳۹۵) در رابطه با تأثیر ویژگی‌های خاک سطحی همخوانی داشت. نتیجه بررسی رابطه بین حجم اندازه‌گیری شده آبکند به‌عنوان متغیر وابسته و دیگر مشخصات خاک و سطح آبخیز آبکند به‌عنوان متغیر مستقل نشان داد که در هر منطقه چه عواملی بر آن مؤثر هستند. ضریب همبستگی در رابطه به‌دست‌آمده برای منطقه نظرآباد ۰/۵۸۹۶ بود و چهار عامل مستقل $C9 (K^+ meq/l)$ ، $C16$ (جرم مخصوص ظاهری)، $C29$ (درصد لاشبرگ) و $C30$ (درصد خاک لخت) نماینده $34/77$ درصد تغییرات بودند. بر اساس این نتیجه، تغییر یک واحد انحراف استاندارد در متغیر جرم مخصوص ظاهری، حجم آبکند را به مقدار ۲۵۰ واحد انحراف استاندارد افزایش می‌دهد که نشان‌دهنده اهمیت این شاخص است که خود تحت تأثیر تراکم دام در مرتع و زمان چرا است. جرم مخصوص با اثر بر ساختمان خاک، نفوذپذیری و همچنین شرایط رشد و توسعه ریشه گیاه، بر مقدار رواناب و نهایتاً هدر رفت خاک تأثیرگذار است و از طرفی تغییرات Bd به حضور ماده آلی همبستگی دارد که خود تابع مقدار پوشش گیاهی است و بر پایداری خاکدانه‌ها تأثیر می‌گذارد (محمدابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ شهاب آرخازلو و همکاران، ۱۳۹۵؛ صوفی و همکاران، ۲۰۲۰).

نظر به اثر عامل درصد خاک لخت، می‌توان نتیجه گرفت که این عامل مستقیماً بر سرعت جریان (رواناب) اثرگذار است؛ به‌طوری‌که هر چه در محدوده‌ی مساحتی آبخیز بالای پیشانی آبکندها، خاک لخت بیشتری وجود داشته باشد، رواناب تولیدی فرصت و قدرت بیشتری برای تخریب و هدر رفت خاک و در پی آن رشد آبکندها دارد. حضور عامل ضریب شکل نشان‌دهنده این است که در حوزه‌های کشیده‌تر، حجم آبکندها بیشتر است؛ بنابراین با کشیده‌تر شدن آبخیزها و به دنبال آن گسترش محدوده‌ی مساحتی تحت اشغال آبکند، فقدان پوشش گیاهی و افزایش خاک لخت در این محدوده، فضای بیشتری برای پیشروی و افزایش حجم آن‌ها فراهم می‌شود (بوریان، ۲۰۱۵).

نتایج تحلیل با استفاده از روش آنالیز مؤلفه اصلی نشان داد که عوامل مستقل مؤثر بر ایجاد و گسترش آبکندها، در مناطق مختلف، متغیر بود ولی مقدار واریانس داده‌ها در تمامی مناطق به‌طور تقریبی نزدیک به هم و در محدوده ۸۴ تا ۸۹ درصد به دست آمد. این بدان معناست که حدود ۱۱ تا ۱۶ درصد از کل واریانس داده‌ها قابل تبیین نبود، که با بررسی متغیرهای اضافی درزمینه ویژگی‌های مختلف، اعم از ویژگی‌های ذاتی خاک، پوشش منطقه و ویژگی‌های هیدرو اقلیمی قابل افزایش بود.

وزن و درصد تغییرات عامل‌های مختلف خاکی و غیرخاکی، بیانگر اهمیت آن‌ها در ایجاد و گسترش آبکندها است که در این میان برخی ویژگی‌های خاکی (پتاسیم و جرم مخصوص ظاهری) و مؤلفه‌های حوضه (بقایای گیاهی و درصد خاک لخت)، بیشترین تأثیرگذاری را نشان دادند (محمدابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ صوفی و همکاران، ۲۰۲۰).

در مدل برآوردی، معنی‌داری و همبستگی بالای بین داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی به‌دست‌آمده است، اما این شرط برای اعتبار مدل کافی نیست. بنابراین استفاده از آزمون استقلال خطاها، آزمون هم خطی و بررسی نرمال بودن خطاها بررسی شد و نتایج نشان داد که خطاهای برآوردی مدل‌های ارائه‌شده دارای توزیع نرمال و مدل‌های ارائه‌شده دارای اعتبار و قابل استفاده بودند. همچنین خلاصه اجرای آزمون دوربین-واتسون نشان از عدم همبستگی بین خطاها داشت و آماره مربوطه نشانگر قابلیت استفاده و اعتماد به مدل بود.

عواملی مثل شوری، فقر پوشش گیاهی و حساسیت بافت خاک باعث افزایش هدر رفت می‌شود. اثر مشخصات آبخیز آبکند و مورفولوژی آن روی عامل هیدرولوژی و رواناب مؤثر است و بر ایجاد و گسترش آبکند تأثیر دارند. این یافته‌ها با نتایج یربی و همکاران (۱۳۹۲) در خصوص نقش ماده آلی به دلیل بهبود پایداری ساختمان خاک و متعاقباً افزایش نفوذپذیری، رستمی‌زاد و همکاران (۱۳۹۴) با معرفی نقش درصد آهک (کمک به

خاکی کوتاه در آبکندها، علاوه بر ایجاد سامانه‌هایی برای استحصال آب باران، سرعت رواناب را کاهش داد و از این راه آب را جمع‌آوری و برای استقرار پوشش گیاهی به‌کارگرفت.

در خصوص کارایی مدل نیز یافته‌ها نشان می‌دهد که بیشتر شاخص‌ها بخصوص ناش ساتکلیف در حد کفایت پذیرش کارایی مدل قرار ندارند و مدل توسعه داده‌شده واجد شرایط پذیرش و کاربرد نیست. هرچند توجه به این نکته ضرورت دارد که در پدیده‌های طبیعی که متغیرهای زیادی روی آن‌ها اثرگذار هستند، رسیدن به چنین نتایجی دور از ذهن نیست چراکه مدل‌های معرفی شده همه عوامل مؤثر را در نظر نمی‌گیرند.

با توجه به مشاهده اثرات چرای گله‌های دام بهره‌برداران بومی در مراتع منطقه و به اهمیت جاده ارتباطی بین نظرآباد و ماهدشت که در اثر پیشرفت آبکندهای منطقه تهدید می‌شود و فاصله آبکندها با جاده به کمتر از ۲۵۰ متر رسیده است (شکل ۴)، ارائه گزارشی از توسعه شدید آبکندها برای مسئولین ذیربط اهمیت دارد تا با اصلاح آبگذرهای موجود و بهبود شرایط نگهداشت آب در بالادست با برخی اقدامات مدیریتی، مکانیکی و بیولوژیکی، از سرعت رواناب کاسته و به مهار گسترش آبکندها و کاهش هدر رفت خاک کمک کنند. این تحقیق نشان داد که به‌کارگیری پهپاد برای نقشه‌برداری باعث تسهیل و تسریع در تهیه نقشه محدود، ترسیم مرز و تعیین مشخصات آبخیز آبکندها و فراهم شدن یک دید کلی از منطقه شد

همچنین با توجه به مقدار ماده‌ی آلی خیلی کم و در نظر گرفتن آستانه‌ی ۳/۵ درصدی ماده‌ی آلی جهت تفکیک خاک‌های فرسایش‌پذیر طبق نظر مورگان (۱۹۹۵) و مورگان و منزیلو (۲۰۰۳)، منطقه مورد مطالعه دارای ماده‌ی آلی لازم برای ایجاد مقاومت در برابر فرسایش آبی نیست و پژوهش‌گران دیگر مانند مکرم و محمودی (۱۳۹۵) نیز تأثیر مقدار ماده آلی را تأیید کردند. محمدابراهیمی (۱۳۹۶)، نیسی و همکاران (۱۳۹۶)، فریدگیلو و قضاوی (۱۳۹۷)، اهیسی و اوموگبو (۲۰۱۳) نیز بر مقدار سیلت، سدیم محلول، ماده آلی و هدایت الکتریکی به‌عنوان عوامل مؤثر بر آبکند تأکید کردند که در پژوهش حاضر نیز نتیجه‌ای هم‌راستا با آن‌ها به‌دست آمده آمد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که نتایج نشان داد فقر پوشش گیاهی و مقادیر بالای سیلت، سدیم و کلر موجود در خاک و در مقابل ماده آلی پایین آن سبب فرسایش‌پذیری بالای خاک شده که با نبود پوشش گیاهی و چرای بی‌رویه، منطقه را دچار فرسایش سطحی و فرسایش آبکندی و در پی آن، هدر رفت خاک نموده است و صوفی و همکاران (۲۰۲۰) نیز بر نتایج مشابهی در منطقه تأکید کرده‌اند. با توجه به نتایج تحقیق مبنی بر پوشش گیاهی ضعیف منطقه و به‌منظور کاهش پیشروی آبکندها، تقویت و احیاء پوشش گیاهی پیشنهاد می‌شود. از سوی دیگر، می‌توان با اقدامات مکانیکی محدود مانند بانکت بندی و یا احداث بندهای

فهرست منابع

۱. ابراهیمی، م.، امیر احمدی، ا. و زنگنه اسدی، م. ۱۳۹۶. مقایسه تهیه نقشه حساسیت به فرسایش آبکندی با استفاده از مدل‌های احتمالاتی وزن واقعه و نسبت فراوانی در حوضه آبخیز سنگانه کلات. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴(۱۲۷)، ۱۰۵-۱۲۷.
۲. امیری، م.، پورقاسمی، ح.، قنبریان، غ. و افضل‌ی، س. ف. ۱۳۹۸. مدلسازی مکانی فرسایش خندقی حوضه آبخیز مهارلو با استفاده از سناریوهای مختلف و الگوریتم وزن واقعه. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۱(۴)، ۱۰۱۶-۱۰۳۲.

۳. پیروان، ح. ۱۳۹۵. بازنگری، تکمیل و انتشار اطلس سیمای حوزه های آبخیز کشور (حوزه دریاچه نمک مرکزی). گزارش نهایی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
۴. حبیب‌پور گتایی، ک. و صفری شالی ر. ۱۳۹۰. راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی: (تحلیل داده‌های کمی). نشر متفکران.
۵. خزایی، م.، شفیع، ا.، و ملایی، ع. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر توسعه فرسایش آبکندی در حوضه آبخیز مارون. پژوهش‌های خاک، ۲۶(۲)، ۱۵۳-۱۶۳.
۶. راهی، غ.، کاویان، ع.، سلیمانی، ک. و پورقاسمی، ح. ۱۴۰۰. تعیین نقش کاربری اراضی و خاک بر آستانه توپوگرافی توسعه خندق‌ها در استان بوشهر. مرتع و آبخیزداری، ۷۴(۱)، ۶۹-۸۱.
۷. رستمیزاد، ق.، سلاجقه، ع.، نظری سامانی، ع.ا. و قدوسی، ج. ۱۳۹۴. تعیین عوامل مؤثر بر رشد طولی خندق‌ها و پیش‌بینی گسترش آن (مطالعه موردی: شهرستان دره شهر). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴(۱)، ۴۶-۵۸.
۸. شهاب آرخازلو، ح.، امامی، ح.، حق‌نیا، غ.، اسمعیلی، ا. و محمودآبادی، م. ۱۳۹۵. تعیین آستانه توپوگرافی و تأثیر ویژگی‌های خاکی بر گسترش آبکندها در سه منطقه از استان اردبیل. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۳)، ۱-۲۴.
۹. شهاب آرخازلو، ح. و اصغری، ش. ۱۳۹۹. برآورد فرسایش خندقی بر پایه معادلات REGEM و اصلاح ضرایب آن در استان اردبیل. تحقیقات کاربردی خاک، ۱۸(۱)، ۱۶۲-۱۷۳.
۱۰. شیرانی، ک. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی و ارزیابی نقشه حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از روش‌های آماری و احتمالاتی. علوم آب و خاک، ۲۵(۲): ۱۵۱-۱۷۴.
۱۱. صفاری، ا.، کرم، ا.، شادفر، ص. و احمدی، م. ۱۳۹۸. تأثیر ویژگی‌های خاک بر مورفولوژی و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوضه رودخانه مهران لامرد، فارس). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۸(۱)، ۱۳۰-۱۴۶.
۱۲. صوفی، م. و عیسایی، ح. ۱۳۸۹. برآورد حجم فرسایش آبکندی با استفاده از ویژگی‌های مورفومتریک و خاک در آبکندهای استان گلستان. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۲(۲)، ۷۳-۸۲.
۱۳. علی احمایی، م. و بهبهانی زاده، ع.ا. ۱۳۷۲. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک. نشریه موسسه تحقیقات خاک و آب، شماره ۸۹۲، ص ۷۷.
۱۴. عرب خدری، م.، گرامی، ز.، شادفر، ص.، بیات، ر.، پرویزی، ی. و نبی‌پی لشکریان، س. ۱۳۹۹. مقایسه کارایی چند معادله برآورد شاخص فرسایش‌پذیری مدل USLE در شرایط آزمایشگاهی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۷): ۱۷۲۵-۱۷۳۶.
۱۵. فریدگیگلو ب. و قضاوی ر. ۱۳۹۷. بررسی نقش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک آبکند و عوامل زمین محیطی حوضه بالادست آن بر گسترش فرسایش آبکندی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(۳)، ۲۷۳-۲۸۶.
۱۶. قزل سوفلو، ع.، مغربی، م. و داروغه، ف. ۱۳۹۷. شناسایی و تعیین میزان گسترش در آبکندهای فعال با استفاده از سنجش از راه دور. نشریه آب و توسعه پایدار، ۵(۱)، ۶۷-۷۲.

۱۷. کاظمی ر. و پرهمت ج. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر روشهای خوشه‌بندی سلسله مراتبی در دقت مدلسازی ضریب جریان در حوضه کرخه. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰(۱)، ۸۱-۹۴.
۱۸. کلبعلی س.، قربانی دشتکی ش.، نادری م.، میرزائی س. ۱۳۹۹. بررسی تأثیر پوشش سنگ‌ریزه سطحی بر میزان رواناب و فرسایش خاک با شبیه‌سازی رواناب. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۴ (۴۸): ۵۲-۵۸.
۱۹. محمدابراهیمی، م. ۱۳۹۶. شناسایی علل وقوع فرسایش خندقی با تأکید بر خصوصیات خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آق امام). نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۷(۲)، ۱-۱۳.
۲۰. محمدابراهیمی، م.، جوادی، م. و وفاخواه، م. ۱۳۹۴. بررسی ارتباط عوامل مؤثر خاکی و غیرخاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی در حوزه آبخیز آق امام (۲). پژوهش های خاک، ۲۹(۴)، ۴۷۸-۴۹۸.
۲۱. مکرم، م. و محمودی، ع. ۱۳۹۵. بررسی ویژگیهای مورفومتری خندقها و ارتباط آن با ویژگیهای خاک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳، ۱۳۳-۱۴۵.
۲۲. نیسی، س.، خلیلی مقدم، ب. و ذرتی پور، ا. ۱۳۹۶. مدلسازی عوامل مؤثر بر رشد طولی خندقهای مارنی و تعیین سهم تولید رسوب حاصل از آنها (مطالعه موردی: حوزه درب خزینه، خوزستان). مرتع و آبخیزداری، منابع طبیعی ایران، ۷۰(۲)، ۵۴۱-۵۳۱.
۲۳. یثربی، ب.، صوفی، م.، میرنیا، س.خ. و محمدی، ج. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر ویژگیهای توپوگرافی و خاک بر گسترش آبکندهای جبهه‌ای در کاربری کشاورزی، مطالعه موردی: استان ایلام. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱(۵)، ۳۱-۹۱.
24. Amiri M., Pourghasemi H.R., Ghanbarian G.A., and Afzali S.F. 2019. Assessment of the importance of gully erosion effective factors using Boruta algorithm and its spatial modeling and mapping using three machine learning algorithms. *Geoderma*, 340: 55–69.
25. Arabameri A., Pradhan B., and Rezaei K. 2019. Gully erosion zonation mapping using integrated geographically weighted regression with certainty factor and random forest models in GIS. *Journal of Environmental Management*, 232: 928–942.
26. Bergonse B., and 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.
27. Burian R., Vladimirovich Mitusov A., and Poesen J. 2015. Relationships of attributes of gullies with morphometric variables. *Geomorphometry for Geosciences*, Jasiewicz J., Zwoliński Zb., Mitsova H., Hengl T. (eds). Adam Mickiewicz University in Poznań - Institute of Geoecology and Geoinformation, International Society for Geomorphometry, Poznań.
28. Castillo C., and Gomez J.A. 2016. A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. *Earth Science Reviews*, 160: 300-319.
29. Dai W., Yang X., Nab J., Lib J., Brus D., Xiong L., Tang G., and Huang X. 2019. Effects of DEM resolution on the accuracy of gully maps in loess hilly areas. *Catena*, 177: 114–125.
30. Ehiorobo J.O., and Audu H.A.P. 2012. Monitoring of gully erosion in an urban area using geoinformation technology. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)* 3(2): 270-275.

31. Ehis O.S., and Omougbo U.N. 2013. Evaluating factors responsible for gully development at the university of Benin. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)* 4(5): 707-713.
32. Frankl A., Poesen J., Scholiers N., Jacob M., Haile Mitiku Deckers J., and Nyssen J. 2013. Factors controlling the morphology and volume (V) – length (L) relations of permanent gullies in the Northern Ethiopian Highlands. *Earth Surf Process Landforms*, online early view.
33. Homae M. Feddes R. A. and Direksen CA. 2002. Macroscopic water extraction model for non-uniform transient salinity and water stress. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1764-1772.
34. Kariminejad N., Hosseinalizadeh M., and Pourqasmi H. 2018. Spatial monitoring of piping erosion using UAV aerial images in loess lands of Golestan Province. *Watershed Management research*, Online publication.
35. Karimov V., Sheshukov A., and Barnes P. 2014. Impact of precipitation and runoff on ephemeral gully development in cultivated croplands. *Sediment Dynamics from the Summit to the Sea, Proceedings of a symposium held in New Orleans, Louisiana, USA, (IAHS Publ. 367, 2014)*. Pp. 87-92.
36. Karimov V.R., and Sheshukov A.Y. 2017. Effects of intra-storm soil moisture and runoff characteristics on ephemeral gully development: evidence from a no-till field study. *Water*, 9(10): 742.
37. Koci J., Sidle R.C., Jarihani B., and Cashman M.J. 2020. Linking hydrological connectivity to gully erosion in the catchment of a savanna rangelands tributary which flows to the great barrier reef using structure-from-motion photogrammetry. *Land Degradation and Development*, 31:20
38. Krause P., Boyle D. P., and B'ase F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model Assessment. *Advances in Geosciences*, 5, 89–97.
39. Kumar Shit P., Sankar Bhunia G., and Maiti R. 2013. assessment of factors affecting ephemeral gully development in badland topography: a case study at Garbheta Badland (Pashchim Medinipur, West Bengal, India). *International Journal of Geosciences*, 4: 461-470.
40. Li Z., Zhang Y., Zhu Q., Yang S., Li H., and Ma H. 2016. A gully erosion assessment model for the Chinese Loess Plateau based on changes in gully length and area. *Catena*, 148(2): 195-203.
41. Liu K., Ding H., Tang G., Na g., Huang J., Xue Z., Yang X., and Li F. 2016. Detection of catchment-scale gully-affected areas using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on the Chinese Loess Plateau. *ISPRS, International Journal of Geo-Information*, 5(238): 2-21.
42. Lucà F., Conforti M., and Robustelli G. 2011. Comparison of GIS-based gully susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology*, 134: 297–308.
43. Marzloff I., Poesen J., and Ries J.B. 2011. Short to medium-term gully development: Human activity and gully erosion variability in selected Spanish gully catchments. *Landform Analysis*, 17: 111–116.
44. Morgan R.P.C., and Mnomezulu D. 2003. Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in middle veld of Swaziland. *Catena*, 50: 401-414.
45. Morgan, R.P.C. 1995. *Soil Erosion and Conservation*. 2nd end, Longman Press, 320p.
46. Oyegun CU., Ereka U.N., and Eludoyin OS. 2016. Gully characterization and soil properties in selected communities in Ideato South Lga, Imo State, Nigeria. *Natural Sciences*, 14(2): 78-86.
47. Raveloson A., Székely B., Molnár G., and Rasztovits S. 2013. The possibility of using photogrammetric and remote sensing techniques to model lavaka (gully erosion) development in Madagascar. *Geophysical Research Abstracts*, 15: EGU2013-8005-1.

48. Saksa M., and Minar J. 2012. Assessing the natural hazard of gully erosion through a Geocological Information System (GeIS): a case study from the Western Carpathians. *Geografie*, 117(2): 152–169.
49. Siqueira Junior P., Silva MLN., Cândido B.M., Avalos F.A.P., Batista P.V.G., Curi N., Lima W., Quinton J.N. 2019. Assessing water erosion processes in degraded area using unmanned aerial vehicle imagery. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43: e0190051.
50. Soufi M., Bayat R., and Charkhabi A.H. 2020. Gully Erosion in I. R. Iran: Characteristics, Processes, Causes, and Land Use. In: Shit P., Pourghasemi H., Bhunia, G. (eds) *Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham.*
https://doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6_23
51. Wang R., Zhang S., Pu L., Yang J., Yang C., Chen J., Guan C., Wang Q., Chen D., Zegeye A.D., Langendoen E.D., Stoof C., Seifu A., Tilahun S.A., Dagnew D.C., Zimale F.A., Guzman. C.D., Yitaferu B., and Steenhuis T.S. 2016. Morphological dynamics of gully systems in the subhumid Ethiopian Highlands: the Debre Mawi watershed. *SOIL*, 2(443–458).

Identifying Effective Factors on Morphology of South West of Nazar Abad Gullies Using UAV

R. Bayat¹, A. Alinejadian Bidabadi ^{2*}, M.Soufi³, A.Maleki⁴ and O.A.Akbarpour⁵

¹ Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran
bayat52@gmail.com

² Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
alinejadian@yahoo.com

³ Associate Prof., Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Iran
majidsoufi2@gmail.com

⁴ Associate Prof., Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
dr.maleki38@yahoo.com

⁵ Assistant Prof., Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
omidakbarpour@gmail.com

Received: April 8, 2023 and Accepted: December 11, 2023

Abstract

Gully erosion is one of the most important and destructive forms of water erosion, and there are ambiguities regarding its initiation and development. The study aimed to identify the soil properties and other factors affecting gullies of South Nazar Abad in 2021. After the field survey, based on the Google Earth images, gullied area boundary draw, 32 gullies were selected, and their location was recorded with the GPS. A surface soil sample was taken from head cut wall of each gully and general analyses were done. The gullies watershed boundaries and morphological characteristics including area, perimeter, and slope were extracted from the DM obtained from unmanned aerial vehicle (UAV) images. The general characteristics of the soil surface in the watershed of the gullies including canopy, bare soil, and residual percent were determined by 1 m x 1 m plot. The gully length, width, and depth were measured and volumes were calculated. Modeling of factors affecting gullies was done using a multivariable linear regression model (step-by-step method) in MINITAB on 70% of observations. The relationship between the volume of gullies with gullies soil properties and watershed characteristics were investigated and a suitable gully development model (soil loss) was introduced. Also, in this research, 30% of the measured samples that were not used in the model construction were used for model validation. Percentage, RMSE, CRM, NSE, CD, MAE and d_{rel} statistics were used to determine model efficiency. Principal component analysis showed that EC, Na⁺, Cl⁻, K⁺, Erodibility, Mg⁺⁺, canopy, bare soil, and SP characteristics had noticeable effect on gullies volume. Based on the results of the research and especially based on the Nash-Shutcliffe efficiency coefficient, no reliable model has been developed. Also, the presented model is valid based on the regression at the five percent significant level and according to the validation coefficients. The model with a correlation coefficient of 0.59 and four factors K⁺, bulk density, crop residues, and percent bare soil could explain 35% of the changes.

Strengthening and restoring crop cover in the area is recommended.

Keywords: Model efficiency, Soil erosion, Gully headcut, Soil loss, Watershed

* - Corresponding author's email: alinejadian@yahoo.com

